Die Eisenorganismen

Systematik und Morphologie

Mit 40 Abbildungen im Text

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde,

genehmigt von der Philosophischen Fakultät

der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

Von

Paul Dorff

aus Berlin-Pankow

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Dezember 1932

Tag der Promotion: 28. Februar 1934

Jena

Gustav Fischer

1934

196

Die Eisenorganismen

Systematik und Morphologie

Mit 40 Abbildungen im Text

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde,

genehmigt von der Philosophischen Fakultät

der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

Von

Paul Dorff

aus Berlin-Pankow

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Dezember 1932

Tag der Promotion: 28. Februar 1934

Jena

Gustav Fischer

1934

Referenten: Prof. Dr. Kolkwitz

Prof. Dr. Diels

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Mit Genehmigung der Fakultät erscheint die Arbeit nur als Teildruck in der Sammlung „Pflanzenforschung", herausgegeben von Prof. Dr. R. Kolkwitz in Berlin-Dahlem, als Heft 16.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

A. Vorbemerkung 1

B. Einleitung 2

C. Die Eisenorganismen 3

I. Einordnung und Abgrenzung . . . . . 3—6

II. Eisenbakterien 6

a) System der Eisenbakterien

1. Haplobakterien. Einzeller . . . . . 6—26

Siderocapsa Molisch 6

Siderococcus n. g. 9

Siderocystis Naumann 12

Sideroderma Naumann 15

Siderobacter Naumann 16

Bacillus Cohn 17

Ochrobium Perfiliev 18

Naumanniella n. g. 19

Gallionella (*Spirophyllum*) Ehrenberg (Ellis) 21

2. Trichobakterien. Zellfäden . . . . . 26—43

Sideromyces Naumann 27

Lieskeella Perfiliev 27

Mycothrix Naumann 28

Sphaerothrix Perfiliev 28

Leptothrix Kützing 30

Crenothrix Cohn 40

Cladothrix Cohn 43

3. Aktinomyceten. Strahlenpilze . . . . . 43—44

Actinomyces Harz 43

b) Bestimmungstabelle 44

III. Anhang. Zur Frage der siderophagen Organismen . . . . . 48—49

IV. Sonstige Eisenorganismen (nichtbakterieller Natur) . . . . 49—56

(Inhaltsübersicht)

Zusammenstellung der nichtbakteriellen Eisenorganismen

a) Botanische Gruppe 52

b) Zoologische Gruppe 55

V. Begleitorganismen (ohne Eisenspeicherung) . . . . . 56—59

Zusammenstellung der Begleitorganismen

a) Botanische Gruppe 57

b) Zoologische Gruppe 58

D. Zusammenfassung 58

Literaturverzeichnis . . . . . 59—62

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550810_0072

A. Vorbemerkung.

Die vorliegende Untersuchung wurde in der Biologischen Abteilung der Preußischen Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin-Dahlem sowie im Limnologischen Laboratorium der Universität Lund in Aneboda (Småland) ausgeführt.

Den Herren Prof. Dr. R. Kolkwitz-Berlin und Prof. Dr. E. Naumann-Lund, von denen die Anregung zu dieser Arbeit ausging, gebührt mein herzlichster Dank für ihre stete Anteilnahme und Förderung mit Rat und Tat; Herrn Prof. Dr. Naumann sage ich ferner meinen Dank für die freundliche Erlaubnis zur Benutzung seines reich ausgestatteten Laboratoriums während der Zeit meines dortigen Aufenthaltes in den Jahren 1930, 1931 und 1932. Hierdurch bot sich mir die Gelegenheit, eine große Anzahl von Befunden und Proben an Ort und Stelle zu bearbeiten.

Dem Präsidenten der Landesanstalt, Herrn Geheimrat Prof. Dr. Beninde, bin ich zu aufrichtigem Dank verpflichtet für die Überlassung eines Arbeitsplatzes und die Erlaubnis zur Benutzung der vielseitigen Hilfsmittel der Anstalt.

Ebenfalls danke ich den Herren Dr. H. Beger, Dr. H. Bethge, Dr. R. W. Kolbe und Dr. W. Krieger für ihre wertvollen Ratschläge und Anregungen. Herrn und Frau Dr. C. Löwenhielm, Löt-Malmby sowie Herrn Dr. H. Osvald-Jönköping bin ich gleichfalls freundschaftlich verbunden für ihre Probesendungen und für zahlreiche andere Unterstützungen.

Dem Verleger, Herrn Dr. Gustav Fischer, möchte ich danken für die gediegene Ausstattung der Arbeit, insbesondere die gelungene Wiedergabe der zahlreichen Abbildungen.

Schließlich habe ich die angenehme Aufgabe, vielen staatlichen Instituten und privaten Stellen des In- und Auslandes für die Überlassung von Literatur, von Gutachten und Auskünften zu danken.

Berlin-Pankow, im Januar 1934.

P. Dorff.

B. Einleitung.

In alten Naturbeschreibungen wird gelegentlich von der Provinz Brandenburg erwähnt, daß hier fast jedes Dorf auf seinen Wiesen oder Niederungen über einen großen Vorrat von verhüttungsfähigem Raseneisenerz verfüge. Wenn dies auch wohl eine Übertreibung sein wird, geht immerhin daraus hervor, welch bedeutende Rolle das Eisen in unserer engeren Heimat, wie überhaupt im ganzen norddeutschen Flachland, spielt. Schon früh beschäftigte man sich daher mit dem Problem der Formbildung und Umwandlung dieses Materials, das mengenmäßig in der Erdkruste an dritter Stelle steht und dessen Wanderungen so außerordentlich auffällig sind. Das Entstehen und Vergehen der Ockerlager, wie sie uns in Brunnen, Quellen, Bächen und an vielen anderen Orten entgegentreten, hat die natürliche Beobachtungsgabe des Volkes seit jeher mit Lebensvorgängen in Verbindung gebracht.

Die eigentliche wissenschaftliche Fragestellung nach der Biologie oder Mechanik dieser Eisenbewegung tritt in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts auf, Ehrenberg und Kützing beschreiben *Gallionella* und *Leptothrix*, die ersten „Eisen-Mangankalamitäten" treten in den Wasserwerken der Städte auf, das Problem wird akut. Die Eisenfrage ist jetzt zur Eisenbakterienfrage geworden. Die Arbeiten Winogradskys schneiden nun das Problem der Autotrophie und Heterotrophie dieser Organismen an; Lieske und Molisch machen weitere grundlegende Untersuchungen über die Physiologie der Eisenbakterien. Eine große Anzahl anderer Forscher liefern Beiträge zu dieser interessanten Frage. Unsere Kenntnisse erweitern sich nun, es werden siderophile Pflanzen- und Tierformen nichtbakterieller Art bekannt, der Ausdruck „Eisenorganismen" ersetzt mit Recht den bisher gebrauchten engeren Terminus „Eisenbakterien" für alle Eisenfäller.

Ein wichtiger neuer Anstoß wird nach einer gewissen Ruheperiode dann vom Ausland gegeben. Russische Autoren beweisen, daß die rein wissenschaftliche Forschungstätigkeit nach dem Umsturz kaum unterbrochen wurde, Butkewitsch weist Eisenorganismen in großer Menge auch im Meerwasser nach, wo ihr Vorhandensein bisher fast allseitig bestritten war; er stärkt damit die Theorie des bakteriogenen Ursprungs der sedimentären Eisenablagerungen, die nicht weniger als 90 % des Eisenerzes auf der Erde darstellen. Cholodny löst die seit Ehrenberg ungeklärte Frage nach der Entstehung und dem Wesen der gedrehten Eisenbänder der Gattung *Gallionella* (*Spirophyllum*), die sich als tote Ausscheidungsprodukte einer winzigen Zelle erweisen.

Einer anderen Forschungsrichtung, die sich in ihren Hauptzügen auch erst in der Nachkriegszeit entwickelte, der Limnologie, gelang nun ein großer Wurf. Durch die Arbeiten von E. Naumann in Schweden und von Perfiliev in Leningrad wurden auf einen Schlag eine große Anzahl neuer Genera und Arten bekannt. Trotz des sich hierbei ergebenden Streites, oder gerade wohl deswegen, muß ein solches Vorgehen, eine solche Erweiterung der Blickrichtung begrüßt werden, wenn auch die in der angewendeten, mehr induktiven Methode liegenden Mängel nicht unterschätzt werden dürfen. Die Aufgabe der vorliegenden Untersuchung soll es sein, den von der Limnologie aus weitgesteckten Rahmen der Eisenorganismenfrage zu einem Teil ausfüllen zu helfen, und zwar unter Zuhilfenahme aller zur Verfügung stehenden Mittel. Erst durch die auf deduktivem Wege zu gewinnenden sicheren Erkenntnisse kann die eindeutige Beantwortung der vielen heute noch schwebenden Fragen gewonnen werden, und damit die für unser Forschungsgebiet wie für jedes andere notwendige Einheitlichkeit.

C. Die Eisenorganismen.

I. Einordnung und Abgrenzung.

Bei der Verwendung des Begriffs „Eisenorganismus" muß zunächst klargestellt werden, in welchem Sinne er überhaupt gebraucht werden soll. Handelt es sich um die Frage nach den die Eisenfällung bzw. den Eisenkreislauf bedingenden Organismen oder um die Frage nach der Einwirkung des Eisens auf die lebende Zelle? Anders gestellt lautet die Frage: Ist die Fällung bzw. die Bewegung des Eisens das für die Eisenorganismen Bezeichnende, oder kommt es auf die physiologischen Vorgänge in der Organismenzelle an, die das gelöste oder in hydrosolem Zustande befindliche Eisen für ihre Lebensvorgänge in verschiedener Menge benötigt?

Die älteste Definition der Eisenbakterien stammt von Winogradsky und enthält sowohl morphologische wie physiologische Kennzeichen. Derselbe Forscher hat in einer neueren Arbeit den Terminus erheblich enger gefaßt und rechnet nunmehr ausschließlich die von ihm als „Anorgoxydanten" bezeichneten Formen dazu. Diese sind bekanntlich imstande, die für ihre Lebensprozesse notwendige Energie durch Chemosynthese zu beschaffen, ohne irgendwelche organischen Substanzen zu benötigen; solche wirken sogar in jedem Falle schädlich und unterbinden die Lebenstätigkeit der betreffenden Organismen; heute werden sie meist als „obligat autotroph" bezeichnet. Bei näherer Betrachtung der vorliegenden Ergebnisse kommt man aber zu der erstaunlichen Feststellung, daß es solche Organismen bei den Eisenbakterien wohl überhaupt nicht gibt. Die einzige Form, von der die obligatorische Autotrophie vielfach behauptet wird, ist *Gallionella* (*Spirophyllum*). Diese Gattung wurde aber von Süßenguth (85) und Naumann (43) in meso- bis polysaproben Wässern massenhaft und ständig aufgefunden. Cholodny, der sich besonders eingehend dem Studium dieser Gattung zuwandte, hielt die Aufstellung einer neuen Gattung trotzdem nicht für erforderlich; damit gab er

aber indirekt — allerdings ohne es zu bemerken — die Theorie der obligaten Autotrophie für *Gallionella* (*Spirophyllum*) auf. Da also noch nicht einmal die „Eisenbakterie sensu strictissimo" die von Winogradsky geforderten Eigenschaften besitzt, muß sein Einteilungsprinzip verlassen werden. Als erster vertritt Molisch (39) die Auffassung, daß es sich bei der Zurechnung zu den Eisenbakterien allein um die Eiseneinlagerung in oder an den Organismen handele, mit anderen Worten, daß die Eiseneinlagerung das Kriterium sei, ob ein Organismus den Eisenorganismen zuzurechnen sei oder nicht. Diesem Forscher, wie auch Lieske (31), gelang es, *Leptothrix* längere Zeit auf eisenfreien, organischen Nährböden zu ziehen und damit den Nachweis zu bringen, daß die Eisenspeicherung für die betreffenden Formen physiologisch nicht unbedingt ausschlaggebend ist. Andererseits wurde aber, ebenfalls von Lieske, die gleiche Form in fast rein mineralischen Nährböden mit Eisenzusatz in guter Entwicklung gehalten, wodurch sie also eine bedeutende Anpassungsfähigkeit an die jeweiligen Nährstoffverhältnisse zeigt.[1])

Bei den meisten Untersuchungen wird aber bis in die neueste Zeit der Begriff dahin begrenzt, daß diejenigen Formen als Eisenorganismen zu bezeichnen sind, die das Eisen aus den Lösungen ausfällen und in ihrer Membran oder einem analogen Gebilde speichern.

Eine andere, mehr der physiologischen Charakteristik Winogradskys ähnliche Meinung vertritt Cholodny in seinen Arbeiten. Dieser Autor stellt in seiner Monographie (10) zwei Kriterien auf: 1. Die „katalytische Wirkung, welche diese Mikroorganismen auf den Prozeß der Oxydation von Eisenoxydul ausüben, 2. das Vermögen, die bei dieser Reaktion freiwerdende Energie für ihre Bedürfnisse auszunützen." Der zu dieser Oxydationsarbeit in größerer Menge erforderliche Sauerstoff entstammt der im Wasser gelösten Luft.

Schon auf der folgenden Seite finden wir aber die Bemerkung, daß es „sehr wahrscheinlich" auch echt heterotrophe Eisenbakterien gibt; in bezug auf den Kohlenstoffbedarf seien diese ganz auf die organischen Stoffe angewiesen, können „zugleich aber durch ihren Atmungsprozeß das Eisen oxydieren, ohne dazu irgendeine organische Verbindung ihres Plasmas verbrauchen zu müssen". Damit wird die allgemeine Geltung des zweiten Kriteriums aufgegeben. Es bleibt also nur das erste bestehen. Dieses schließt aber die mechanisch-chemische Eisenablagerung, die Cholodny als Zuordnungsprinzip wiederum energisch ablehnt, keineswegs aus, denn die „katalytische Wirkung" kann ebenso extrazellulär vor sich gehen und hier die Eisenabscheidung bewirken. Es sind auch noch andere Punkte von Cholodnys Auffassung zu kritisieren, die hier nicht im einzelnen behandelt zu werden brauchen.[2])

1) Dieser Schluß wird allerdings hinfällig, wenn es sich um verschiedene Arten handelt, wie von mancher Seite behauptet wird.

2) Zu welchen Schwierigkeiten Cholodnys Einordnungsprinzipien führen, geht z. B. daraus hervor, daß er es bei einem so typischen Eisenfäller wie *Ochrobium tectum* für „sehr unwahrscheinlich" hält, daß dieser zu den Eisenbakterien gezählt werden dürfe. Und zwar aus dem Grunde, weil *Ochrobium* vorwiegend in den tieferen Wasserschichten anzutreffen sei, also offenbar „besser unter verhindertem Sauerstoffzutritt gedeiht".

Seine Auffassung wird aber noch von anderer Seite, von der praktischen Forschung her, eingeschränkt. Bei den in den letzten Jahren besonders von russischen Forschern vorgenommenen Schlammuntersuchungen hat sich nämlich herausgestellt, daß die einen Teil dieser Ablagerungen bildenden Eisenschichten (Mikrozonen) so gut wie restlos bakteriogene Bildungen darstellen. Solche Mikrozonen treten in eisenhaltigem Schlamm sehr häufig auf und sind weit verbreitet. Wenn man dabei aber in Betracht zieht, daß diese Schlammschichten infolge der ihnen eigentümlichen Reduktionsvorgänge zum mindesten außerordentlich sauerstoffarm sind, so erweist sich die Anschauung Cholodnys als ungenügend. Es wurde nämlich ursprünglich vorausgesetzt, daß die Bakterienzelle durch die Oxydation der in ihren Körper aufgenommenen löslichen Eisensalze ihre Energie gewinnt. In diesem Falle kann die Zelle bei dem offenbaren Mangel an O_2 ihren Energiebedarf auf diesem Wege nicht decken; sie ist vermutlich sogar zeitweilig zu anaerober Lebensweise gezwungen (Vgl. auch die Angaben auf S. 37). Trotzdem findet eine regelmäßige und beträchtliche Eisenablagerung statt, die ganz offenbar biogen bewirkt wird. Eine solche Entwicklung wurde von Jegunov (25), Nadson (42) und später von Butkewitsch (8) auch experimentell dargestellt und beschrieben. So fand z. B. in monatelang sorgfältig mit paraffinierten Korken verschlossenen Gefäßen mit Eisenschlammeinlagerung eine lebhafte, durch Organismentätigkeit bedingte Eisenabscheidung in bestimmten Zonen statt. Ähnliche Angaben macht auch Perfiliev (56). Dabei gehören nun ganz zweifellos die genannten Organismen zu den Eisenorganismen, — hier finden sich selbst Vertreter der bekannten Gattungen *Leptothrix* und *Gallionella*! — trotzdem sie nicht die Cholodnysche Forderung nach Energiegewinn aus der Oxydation der löslichen Eisenverbindungen durch die Zelle erfüllen. Man wird schon allein aus diesem Grunde dem genannten Einordnungsvorschlag nicht zustimmen können.[1])

In der vorliegenden Untersuchung wird dieser Begriff in Anlehnung an eine Formulierung von E. Naumann so definiert, daß alle Organismen, die sich an der Ausfällung von Eisenverbindungen beteiligen, als Eisenorganismen bezeichnet werden. In Naumanns Schema sind außer diesen — den siderogonen — auch noch die siderophagen — eisenlösenden — Organismen einbezogen. Da Siderophagie, wie unten näher ausgeführt wird, aber niemals ein systematischer, sondern nur ein ökologischer Begriff sein kann, verbietet sich die Einbeziehung einer solchen Organismengruppe in ein systematisches Schema.

Von den bisher üblichen Formulierungen unterscheidet sich die eben gegebene dadurch, daß sie weiter gefaßt ist. Sie umfaßt nämlich außer den „eisenspeichernden Eisenfällern" auch die Formen, die das Eisenoxyd zwar fällen, aber nicht in bestimmte Partien ihres Körpers einlagern, sondern frei abscheiden (Typus *Siderococcus*). Die Frage, die anfangs gestellt wurde, ist

1) Auf die Gründe, die zur Aufstellung solcher Theorien Veranlassung gaben, gehe ich später bei Beginn der Besprechung der Trichobakterien näher ein.

somit dahingehend zu beantworten, daß nur die Beteiligung an der Eisenfällung das Kriterium für die Zurechnung zu den Eisenorganismen sein kann.

Dieser Auffassung entsprechend müssen — nach dem Vorschlage Gaidukovs (20) — als gleichberechtigt neben den Eisenbakterien auch alle anderen Organismen aus dem Pflanzen- und Tierreich betrachtet werden, die sich merklich an der Eisenfällung beteiligen.

II. Eisenbakterien.

Wenn hier zunächst die Bakteriensystematik behandelt werden soll, so geschieht das, weil die meisten siderophilen Organismen eben zu den Bakterien gehören und dort eine bestimmte charakteristische Gruppe bilden. Die übrigen Eisenorganismen verteilen sich auf die verschiedensten Gruppen des Pflanzen- und Tierreichs und lassen sich daher nicht in der Art der Eisenbakterien zusammenfassend behandeln. Sie sind auf S. 52ff. zusammengestellt.

Mit den einfachsten Formen — den Haplobakterien — soll bei der Besprechung begonnen werden, da sie systematisch zu den niedriger organisierten Lebewesen gehören. Außerdem übertreffen sie an Zahl der Gattungen und Arten die fädigen Formen — Trichobakterien — und stehen diesen an Bedeutung keineswegs nach.

1. Haplobakterien. Einzeller.

Da sich die von einigen Verfassern getroffene Unterscheidung in die beiden Gruppen der „morphologisch nachweisbaren" bzw. „morphologisch nicht nachweisbaren" nicht halten läßt, wenden wir uns der Beschreibung der einfachsten Formen der Haplobakterien zu, die zu den Coccaceen gehören.

Siderocapsa Molisch.

Kokkobakterien, die einzeln oder zu vielen vereinigt innerhalb einer Gallerte liegen. Das ausgefällte Eisenhydroxyd wird in diese Gallerte eingelagert, die dann die Zellen als braunes Höfchen ganz oder teilweise umschließt. Auftreten epiphytisch auf grünen Wasserpflanzen oder im Neuston, neuerdings auch im Plankton und im Bodenschlamm beobachtet. Die meisten sind mit den üblichen Färbemethoden sichtbar zu machen, eine Form wird nur durch besondere Reagentien tingiert. Der innere Durchmesser der Gallerthöfchen beträgt 1,8—5 μ und darüber, die Größe der einzelnen Zellen schwankt von 0,4—1,8 μ. Die Gattung wird von Naumann in zwei Sektionen zerlegt, im ganzen sind 4 Arten bekannt.

Sektion: *Monosiderocapsa* Naum.

Charakteristisch ist die Tatsache, daß die Zellen stets einzeln in den Zellhöfen auftreten. Die Diagnose für die einzige vorhandene Art lautet nach Naumann:

Siderocapsa monoica Naum.

„*Cellulae singulares, magnitudine* 0,5—0,75 μ, *vallo ferrugineo circumcinctae.*“ Diese Form wurde von Naumann nur einmal auf *Potamogeton natans* aus dem Teich Stenfälle bei Aneboda aufgefunden. Außerdem konnte ich sie in anderen Teilen des Teichgebietes Aneboda und im Niedermoor Svartökärr in Småland, sowie in einigen Gewässern der Mark Brandenburg feststellen, und zwar als Aufwuchs auf *Potamogeton* und *Sagittaria* sowie in der obersten Schlammzone einiger Kulturen (Waidmannsluster Fließ, Brieselang b. Berlin). Die Zellen sind bei Beginn der Vererzung randlich von einer schwach gelben Gallerte umhüllt, die eine deutliche Berlinerblau-Reaktion zeigt. Die Zellen selbst sind normal färbbar. Sie vererzen in späteren Stadien völlig, so daß sie gänzlich von Eisen eingehüllt werden und oft zu größeren Rostfleckenaggregaten zusammenwachsen. Eine schematische Darstellung ist in Abb. 1 gegeben.

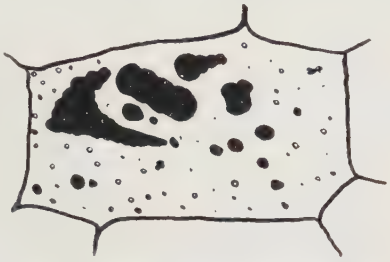

Abb. 1. *Siderocapsa monoica* Naum. (schematisch), Aufwuchs auf einer *Potamogeton*-Zelle (nach Naumann).

Sektion ***Polysiderocapsa*** Naum.

Stets mehrere Zellen in jeder Gallerthülle.

Siderocapsa coronata Redinger.

In dem Lunzer Obersee entdeckte Redinger (58) eine neue planktische Form von *Siderocapsa*, die 1930 zur Zeit der Schneeschmelze in „oft hand-

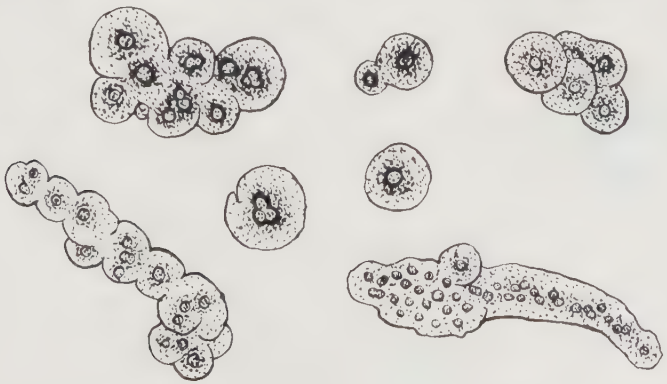

Abb. 2. *Siderocapsa coronata* Red., verschiedene Kolonietypen. Nach Redinger.

großen schaumigen Bildungen auf der Wasseroberfläche schwimmend gefunden“ wurde. Die Diagnose lautet: „Freischwimmend, koloniebildend. Kokkenartige Bakterien von ca. 1 μ Durchmesser sind zu 2—8 in eine gemeinsame,

farblose Kapsel eingeschlossen und von einem mächtigen Gallertmantel umhüllt, der Eisen und Mangan in großen Mengen speichert. Bis 90 solcher Zooglöen können zu einem Coenobium von verschiedenster Form vereinigt sein. Die Bakterien sind auch im Leben deutlich sichtbar, die Gallerten erscheinen durch die eingelagerten Oxyde gelb bis tiefbraun gefärbt." (Abb. 2.)

Siderocapsa major Molisch.

Die Zellen liegen in Zooglöen zusammen und sind von einem braunen, eisenhaltigen Hof umgeben. Die Größe der Einzelzellen beträgt 0,7—1,8 μ, es liegen oft viele (bis 100 und darüber) Zellen innerhalb einer Gallerte. Molisch äußert sich nicht über die Färbbarkeit, doch wurde bei den von mir im Sommer 1932 in Altwässern und Gräben des Odertales bei Stolzenhagen gefundenen Formen eine normale Farbaufnahme festgestellt. Die Kolonien von *S. major* treten im Neuston auf, überziehen aber unter Umständen auch die Oberfläche von Wasserpflanzenblättern, falls diese nach Bildung des Neustonhäutchens den Wasserspiegel durchwachsen. Von mir nur in strömungslosem Wasser stagnierender Wiesengräben beobachtet. Zuerst im Neuston einer Probe, die aus einem Altwasser der Moldau bei Prag stammte, aufgefunden. (Abb. 3.)

Abb. 3. *Siderocapsa major* Mol. Nach Molisch.

Siderocapsa Treubii Mol.

Die zuerst aufgefundene Art dieser Gattung, von Molisch 1909 beschrieben und nach dem Direktor des Botanischen Gartens in Buitenzorg (Java) benannt. Ein typischer Epiphyt, weit verbreitet auf sehr vielen Wasserpflanzen (*Elodea*, *Sagittaria*, *Ceratophyllum*, *Lemna*, *Callitriche*, *Potamogeton*, *Nymphaea* u. v. a.). Sie bildet, ähnlich wie *S. major*, kleine „Rostflecke" auf den Vegetationsteilen dieser Pflanzen, die dadurch gelegentlich deutlich rotgelb-ockerig überkrustet erscheinen. Allgemein verbreitet, aber nicht zahlreich, in Wiesengräben, flachen Teichen und Moortümpeln. Zum Unterschiede von *S. major* liegen hier stets nur wenige Zellen (bis 8) innerhalb einer Gallerthülle, deren innerer Hof 1,8—3,6 μ Durchmesser hat. Die Zellen selbst haben eine Ausdehnung von 0,4—0,6 μ im Durchmesser (Abb. 4).

Abb. 4. *Siderocapsa Treubii* Mol. (schemat.) Orig.

Molisch gibt an, daß die Zellen von *S. Treubii* in lebendem Zustande in der Regel nicht zu beobachten seien und sich durch eine ausgesprochene Chromophobie auszeichnen. Er versuchte, zunächst ohne Erfolg, sie nach den verschiedensten Methoden zu färben. Dies gelang erst nach Anwendung des Schiffschen Aldehydreagens, das die Zellen nach kurzer Zeit violett färbt

und sie innerhalb der heller bleibenden Gallerthöfchen deutlich bemerkbar macht.

Demgegenüber liegen Ergebnisse von anderen Forschern vor, nach denen sich auch die Zellen von *S. Treubii* stets in der gewohnten Weise als färbbar erwiesen. Naumann teilt auf Grund dieser Feststellung die Art in zwei Formen unter, forma *chromophoba* und f. *chromophila*. Dem Verfasser gelang es in allen Fällen, die Zellen von *S. Treubii* sowohl mit Jodjodkali als mit Methylenblau, im letzteren Falle allerdings nur unter Erwärmen, zu färben.

Cholodny, der, wie wir schon früher sahen, eine abweichende Meinung über den Begriff „Eisenorganismus" hat, macht nun in Bezug auf *S. Treubii* und *major* eine Reihe Einwände dahingehend, daß bei beiden Arten die Zugehörigkeit zu den Eisenbakterien „recht zweifelhaft" sei. Schon Redinger bezeichnete diese Auffassung als „eine etwas gewaltsame Gedankenkonstruktion" und lehnte sie ab. Inzwischen haben sich — gerade auch durch die Auffindung der neuen Spezies *S. coronata* — die Beobachtungen über die Gattung, auch regional betrachtet, soweit verdichtet, daß wir ihre Existenz und Stellung bei den Eisenbakterien wohl als unbestreitbar ansehen dürfen.

Siderococcus n. g.

Die Angehörigen dieser Gattung rechnen zu den kleinsten bisher bekannten Bakterien. Ihre Größe beträgt etwa 0,2—0,7 μ im Durchmesser. Sie sind in der Natur weit verbreitet und können zu großen Aggregaten zusammentreten. Im Gegensatz zur Gattung *Siderocapsa*, deren Sektion *Monosiderocapsa* sie sonst weitgehend analog sind, besitzen sie keine Gallertkapsel, sondern scheiden das Eisen außerhalb der Zelle frei ab. Bisher zwei Arten.

Siderococcus limoniticus n. sp.

Der Organismus wurde im Jahre 1930 als Sumpferzbildner in einem Aufwuchs am Teufelssee bei Freienwalde (Mark) entdeckt. Dieser Aufwuchs verdankte sein Ursprungsmaterial einem Quellhorizont, dessen Eisengehalt 4,5 mg/l betrug. Die ganze Umgebung war quellig und so stark eisenhaltig, daß der Erdboden oberflächlich bereits bis zu erheblicher Stärke von einem eisernen „Block" überlagert war, dessen Analyse rund 67% Fe_2O_3 ergab.[1]) Die mikroskopische Untersuchung ergab zunächst kein Anzeichen für die Annahme einer biogenen Entstehung dieser Bildung, doch gelang es in den mit Standortwasser angesetzten Kulturen bald, einen Organismus stark anzureichern, der große Mengen Eisen aus der Lösung ausfällte. In einer charakteristischen Zone, etwa gleich weit vom Schlammrand wie von der Wasseroberfläche entfernt, begann sich schon nach 3—4tägigem Stehen ein braunroter Anflug zu zeigen, der sich in kurzer Zeit erheblich verstärkte und endlich die eingehängten Objektträger mit einem dicken, undurchsichtigen Eisen„ring" umkrustete (Abb. 5). Wenn das Eisen aus einem derartigen Niederschlag — am besten

1) Nähere Beschreibung vgl. bei Dorff (15).

im Anfangsstadium der Vererzung — durch Behandlung mit 10proz. HCl ausgelöst wurde, blieben eine große Anzahl sehr kleiner Zellen sichtbar, deren Durchmesser etwa 0,2—0,5 μ betrug. Da sich diese Körperchen einerseits auch bei Anwendung von stärkeren Säuren nicht auflösten, andererseits die üblichen Färbemittel in gewohnter Weise aufnahmen, kann an ihrer zelligen Natur wohl kein Zweifel bestehen. Bei Anwendung der Berlinerblauprobe färbte sich das ausgeschiedene Eisenhydroxyd tief blau, während sich die Zellen hell-blaßgelb deutlich von der dunkleren Umgebung abhoben.

Selbst bei Auslösung des Fe mit ganz schwacher HCl (< 2 %) konnte niemals das Vorhandensein einer Gallerte festgestellt werden; die Eisenabscheidung war aber offenbar auf die Tätigkeit der beschriebenen Organismen zurückzuführen, denn sie trat an anderen Stellen der Kultur nicht auf, ebenso wie auch die Bakterien. Wir haben es daher ohne Zweifel mit einem neuen Typus der Eisenbakterien zu tun, dessen Vertreter ich der Gattung *Siderococcus* unter dem Speziesnamen *S. limoniticus* n. sp. einreihe, und zwar mit folgender Diagnose: Zellen kokkenförmig, Durchmesser 0,2—0,5 μ. Eisenabscheidung frei außerhalb der Zelle, ohne Speicherung in Gallerte, Membran oder analogen Gebilden. Aufwuchs in der Kultur in einer scharf begrenzten Zone (Bakterienniveau). Eisenausscheidung im Verhältnis zur Zellmasse groß, daher den autotrophen Eisenbakterien nahestehend. Vorkommen in Grundwasserhorizonten beim Zutagetreten und unterirdisch. Verbreitet, auch in tropischen Binnengewässern. Vorkommen bisher beobachtet: In russischen und schwedischen Seerzen, im Freienwalder Sumpferz sowie in eisenreichen Süßwasserproben aus Malesien (Java, Sumatra, Bali).[1])

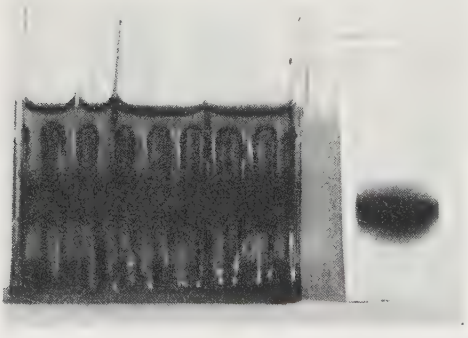

Abb. 5. Mikrozonaler Aufwuchs von *Siderococcus limoniticus* n. sp., nach viertägiger Exposition der Glasscheiben. Etwa ½ nat. Gr. Phot. Dorff 1931.

Die Organisation und Lebensweise von *S. limoniticus* ist außerordentlich einfach, und es ist durchaus zu erwarten, daß dieser Organismus viel weiter verbreitet ist, als man heute weiß, und die Bildung vieler Sumpf- und Seerze bewirkt hat.

Wenn nun die verschiedenen Bearbeiter des Bildungsproblems der Sumpferze in ihren Proben keine der bisher bekannten Bakterien auffanden, so ist das noch kein Beweis für das Fehlen solcher Lebewesen überhaupt. Es dürfte unmöglich sein, durch direkte mikroskopische Untersuchung die bakteriogene Entstehung eines solchen Erzes zu ermitteln, wenn dieses z. B. durch die Tätigkeit des eben beschriebenen *Siderococcus* gebildet wurde; ganz abgesehen davon, daß auch die Eisenstoffwechselprodukte der bekannten Eisenorganismen mit der Zeit chemisch derart verändert werden, daß ihre Erkennbarkeit direkt unmöglich gemacht wird.

1) Durch freundl. Entgegenkommen von Herrn Prof. Kolkwitz standen mir dessen tropische Probensammlungen zur Verfügung. Vgl. auch Lit. 15.

Für die Entstehung der Seerze, die lange Zeit rein chemisch-physikalisch erklärt wurde, hat sich jetzt durch die grundlegenden Untersuchungen von Perfiliev und die neueren Arbeiten von Naumann u. a. die biogene Hypothese durchgesetzt, der sich auch Cholodny anschließt. Die beiden erstgenannten Verfasser erwähnen nun in kurzen Notizen die Auffindung kleiner Kokkobakterien als Seerzbildner, und man darf annehmen, daß neben den Kokken vom Typus *Siderocapsa*, die dabei eine Rolle spielen, auch die *Siderococcus*-artigen Bildungen an der Entstehung dieser Konkretionen beteiligt sind, was daher auch bei den Standortsangaben berücksichtigt wurde.

Siderococcus communis n. sp.

Es wurde schon mehrfach in der Literatur darauf hingewiesen [Adler (1), Harder (24), Naumann (47)], daß bei Laboratoriumsversuchen mit organischen Eisenlösungen innerhalb kurzer Zeit alles Eisen ausgefällt und am Boden des betreffenden Gefäßes als Eisenoxydhydrat abgelagert wird. Zu diesen Versuchen wurde häufig das von Adler zuerst verwendete Eisenammonzitrat benutzt. Es ist ferner bekannt, daß diese Eisenfällung auf die Tätigkeit von Bakterien zurückzuführen ist, die in großen Mengen in den betreffenden Eisenabsätzen nachgewiesen wurden. Da sich ein Wachstum dieser Bakterien in mineralischen Eisensalzlösungen (Ferrokarbonat) nicht einstellt, kann man annehmen, daß sie nicht das Eisen als solches für ihre Lebensfunktionen verbrauchen, sondern die organischen Bestandteile des Eisenammonzitrates. Der Effekt des Ausfalls von Eisenoxydhydrat entsteht also sekundär, und zwar dadurch, daß nach Verbrauch des Zitrats das vorhandene Eisen übrigbleibt, von dem im Wasser gelösten Sauerstoff oxydiert wird und so ausfällt. Eine ähnliche heterotrophe Lebensweise nimmt Aschan (2) für gewisse Seerzbildner an, die als organische Kohlenstoffquelle die im Wasser gelösten Humusstoffe benutzen sollen (vgl. Dorff, 15).

Die Zellen sind kokkenförmig, seltener haben sie die Form von Kurzstäbchen, ihr Durchmesser beträgt 0,4—1 μ. In der Natur sind sie sehr verbreitet, da sie in den verschiedensten Gegenden aufgefunden wurden (Deutschland, Finnland, Rußland, Schweden, Tschechoslowakei, U.S.A.). Ein massenhaftes Auftreten wurde aber nur in den angegebenen organischen Eisensalzlösungen, und zwar im Bodensatz der Kulturgefäße, bemerkt. Ein Aufwachsen auf eingehängte Objektträger, wie es sonst bei den meisten Eisenbakterien beobachtet wird, findet in wesentlichem Umfang niemals statt, ebensowenig wie die Ausscheidung einer Gallerte durch die Zellen. In lebendem Zustand sind die Zellen, die in einigen Fällen linienartig angeordnet erscheinen, wegen ihres geringen Lichtbrechungsvermögens gewöhnlich schlecht zu erkennen, lassen sich aber durch die üblichen Färbemethoden leicht sichtbar machen; bei Anwendung der Berlinerblauprobe zeigen sie nur schwache Eisenreaktion.

Aus den Angaben geht hervor, daß der beschriebene Organismus durch die Art der Eisenabscheidung zur Gattung *Siderococcus* gestellt werden muß. Von *S. limoniticus* unterscheidet er sich aber scharf sowohl durch die Physiologie wie durch den Aufwuchstypus. Es ist daher erforderlich, eine neue Art aufzustellen, die ich *Siderococcus communis* nenne. Diagnose: Zellen kokkenförmig, selten Kurzstäbchen; Durchmesser 0,4 –1 μ. Eisenabscheidung frei außerhalb der Zelle, ohne Speicherung in Gallerte oder Membran. Massen-

entwicklung in Kulturen mit organischen Eisensalzlösungen stets am Boden der Kulturgefäße. Heterotrophe Lebensweise. Allgemein verbreitet.

Harder beschreibt außer den eben genannten Organismen auch stäbchenförmige Zellen in den Absätzen der Eisenammonzitrat-Lösungen und gibt auch Abbildungen davon. Möglicherweise stellen sie die schon von Molisch auf ganz ähnliche Weise gewonnenen Schwärmer von *Leptothrix* sp. dar; deren Dauerformen sind nach den Untersuchungen von Meeham und Baas-Becking (35) stets in der Luft vorhanden und können leicht auf diesem Wege in die Lösung und zur Entwicklung gelangt sein. Von mir wurden solche Zellen nur in ganz geringer Anzahl aufgefunden; vielmehr bestanden die genannten Bodensätze gewöhnlich so gut wie ausschließlich aus *S. communis*.

Siderocystis Naum.

Die Gattung *Siderocystis* wurde 1921 von Naumann aufgestellt, nachdem er die dazugehörigen Formen mit Hilfe der Methode der Aufwuchsträger (Glasscheibenkultur) erhalten hatte. Es handelt sich dabei um „rostfleckbildende Stäbchen, die sich auch in großem Maßstabe bei der Ausfällung der scheinbar unstrukturierten Ockerbildungen beteiligen". Die kurze Diagnose lautet: „*Cellulae bacilliformes, irregulariter in area mucosa oxido ferrico omnino imbibata dispositae.*" Die Gattung scheint nach meinen Beobachtungen ihre Hauptverbreitung in den Gebieten der oligotrophen Humuswässer zu haben, da sie im Aufwuchs der hiesigen Gewässer nur selten und in geringer Anzahl mit Sicherheit festzustellen war, dagegen jedesmal reichlich in den Proben aus Moorgebieten im Urgestein (Aneboda, Erzgebirgs-Moore, Harz-Brockenmoore).

Siderocystis vulgaris Naum.

Zellgröße 2,5 × 0,5 μ. „Primär werden nur Flecken, welche je einen Stab enthalten, gebildet. Diameter dieser primären Flecken etwa = 7,5 μ." Die einzelnen Flecken pflegen sich schnell zu größeren Aggregaten zu vereinigen, den schon erwähnten, mit bloßem Auge sichtbaren Rostflecken (Abb. 6). Im Endeffekt erscheint schließlich eine eingehängte Glasplatte von einer gleichmäßigen dünnen Rostschicht umhüllt. Diese Entwicklung kann recht schnell gehen; so traten bei meinen Versuchen in Aneboda schon nach drei- bzw. viertägiger Exposition an einzelnen Stellen derartige totale Vererzungen der eingehängten Objektträger ein.

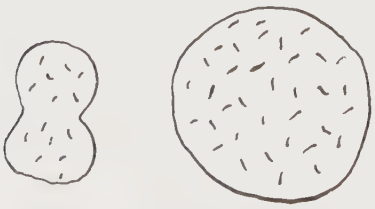

Abb. 6. *Siderocystis vulgaris* Naum. (schematisch); nach Auslösung des Eisens aus der Gallerte; Zellen schwarz gehalten. Nach Naumann.

Siderocystis minor Naum.

Diese Form wird als ein „dickes Kurzstäbchen" bezeichnet. Die Länge beträgt etwa 1,5 μ, die Breite schwankt zwischen 0,5 und 1,5 μ. Die Gallerthülle, in der die Zellaggregate eingebettet sind, ist größer als bei der vorigen

Art. Naumann vergleicht sie bezüglich ihrer Zellgröße mit *Siderocapsa major*, hält es aber für nötig, beide Formen zu trennen. *S. minor* scheint einen erhöhten Sauerstoffbedarf zu haben, ihr Wachstum in der Kultur erfolgt regelmäßig dicht unter dem Flüssigkeitsspiegel. Im Gegensatz zu *S. vulgaris* pflegen die Gallerthüllen, die die einzelnen Zellen umgeben, nicht strukturlos ineinander überzufließen, sondern sie behalten bis zu einem gewissen Grade ihre Form bei, so daß im Aufwuchs meist traubenähnliche Gebilde zu sehen sind. Ferner ist nach meinen Erfahrungen charakteristisch, daß die *S. minor*-Kolonien nicht nur als flache, gleichmäßige „Rostschicht" aufwachsen, sondern in gröberen Klümpchen, die mehrere Millimeter Durchmesser haben können. Der Aufwuchs erfolgt stets zunächst an den rauheren Teilen des Glases, d. h. an den gebrochenen schmalen Kanten, und dehnt sich dann erst ganz allmählich auf die glatten Flächen aus. Es besteht äußerlich oft eine weitgehende Ähnlichkeit mit *Siderocapsa coronata* Redinger, bei der sich aber stets mehrere Zellen in einer Gallertkapsel befinden, während die Kapseln von *Siderocystis* nur ein Stäbchen enthalten. Im Aufwuchs der Kleinsümpfe und des Fiolenbaches bei Aneboda aufgefunden.

Naumann stellt noch eine Gattung *Siderothece* auf, von der zwei Arten, *S. major* und *S. minor*, beschrieben werden. Da die Gattungs- und Artdiagnosen aber auffallend und fast wörtlich mit denen von *Siderocystis* (*minor*) übereinstimmen — die angegebenen Größenunterschiede schwanken um $\pm$ 0,5 μ — halten wir sowohl die Aufstellung einer neuen Gattung, wie die zweier neuer Arten für unzulässig, da die erwähnten Formen zu *Siderocapsa minor* zu stellen sind. Die Auffindung der „*Siderothece*" im Bachaufwuchs weist überdies auch auf den schon vorher erwähnten erhöhten Sauerstoffbedarf hin, was die Übereinstimmung aller dieser Formen ebenfalls bestätigt.

Siderocystis confervarum (Chol.) Naum.
(Synonym: *Sideromonas confervarum* Chol.).

Cholodny beschreibt 1922 diese Eisenbakterie unter dem neuen Gattungsnamen *Sideromonas*. Da die Diagnose aber weitgehend mit der von Naumann 1921 gegebenen für *Siderocystis* übereinstimmt, erscheint es mir erforderlich, die Naumannsche Bezeichnung aus Prioritätsgründen weiterhin zu verwenden.

Die Zellen von *S. confervarum* sind Kurzstäbchen, deren Länge 0,8—1 μ, deren Breite 0,5—0,6 μ beträgt. Sie finden sich in einer gemeinsamen Gallerte zu vielen vereinigt und pflegen in oft makroskopischen Aggregaten muffenartig die Fäden verschiedener grüner Algen (*Tribonema*, *Oedogonium*, *Mougeotia* u. a.) zu umkleiden; sie bilden sogenannte Psichohormien. Die einzelnen Zellen sind nicht selten perlschnurartig zu kurzen Ketten von 4—10 Gliedern aneinander gereiht.

Die Bakterienzellen sind in lebendem Zustand nicht erkennbar, treten aber deutlich hervor, wenn man das Präparat nach Härtung mit 5—10proz. Formalinlösung mit schwacher HCl behandelt, gut auswäscht und dann mit Gentianaviolett färbt. Die Behandlung mit Formalin erfolgt aus dem Grunde, damit die „Zellketten" ihre ursprüngliche Lagerung möglichst beibehalten. Cholodny wie auch schon Gaidukoff (20) und andere Algologen machten

die Feststellung, daß sich die Zellen der *Tribonema*, die von Psichohormien umkleidet waren, in der Regel durch stärkeres Wachstum, einen größeren Vorrat an Reservestoffen sowie eine dunkler grüne Färbung auszeichneten, also als Akineten anzusprechen waren. Cholodny ist der Ansicht, daß hier eine echte Symbiose vorliegt, bei der die Alge den in der Gallerte verteilten Bakterien Sauerstoff zuführt, während die Bakterien durch ihre Gallertbildung den betreffenden Zellen als Schutz dient. Dazu muß bemerkt werden, daß eine Akinetenbildung allgemein bei Verschlechterung der Lebensbedingungen einsetzt, also eine Art Notwehr der betreffenden Alge darstellt. Sie läßt sich experimentell auch in praktisch eisenfreien Lösungen jederzeit durch bestimmten Nährstoffentzug hervorrufen.

Zusammenfassend ist also festzustellen, daß die Cholodnysche Annahme einer Symbiose kaum haltbar ist; im Gegenteil möchten wir sogar behaupten, daß hier eher eine Art „Parasitismus" von seiten der Bakterien vorliegt, da die Wirtspflanze durch die Psichohormienbildung in ihrem normalen

Abb. 7. *Siderocystis confervarum* (Chol.) Naum. auf einem *Oedogonium*-Faden. Vergr. ca. 1000. Etwas schematisiert. Orig.

Lebensablauf behindert wird. Auch Uspenski (69) ist der Ansicht, daß die Akinetenbildung eine Reaktion gegen beginnende Eisenvergiftung darstellt. Im folgenden sind die von den bisherigen Bearbeitern gemachten Angaben sowie meine Feststellungen zu einer Tabelle verarbeitet, aus der die Verschiedenheiten der Psichohormien in bezug auf Farbe, Form, Zellanordnung, Wirt, Gallerteinlagerungen sowie die Fundorte hervorgehen (Tab. 1).

Mit Naumann rechne ich dabei auch die sogenannten „Exkretkugeln", die an verschiedenen Algen (*Lepochromulina*) vorkommen, zu *S. confervarum*.

Pakh (52) beschreibt noch einige Formen mit „flächenartigen Ausbreitungen", die „flecken- und krustenartige Ausbildung" haben. Diese gehören aber nach der Beschreibung offenbar zu *Siderocapsa* oder *Siderocystis vulgaris* und stellen keine Psichohormien im eigentlichen Sinne dar. Ebenso können wir uns der Anregung dieser Verfasserin nicht anschließen, die Spezies *confervarum* auf Grund der verschieden geformten Gallerte in eine neue „Species collectiva" umzuwandeln, die dann in einzelne „Formen" unterzuteilen wäre.

Tabelle 1.
Psichohormien von *Siderocystis confervarum* (Chol.) Naum.

Nr.	Farbe	Wuchsform	Zellanordnung	Wirte	Gallerteinlagerungen	Fundorte
1	lebhaft rostrot	klumpig, kugelig oder hülsenartig	perlschnurartig, selten zerstreut	*Tribonema bombycinum*, *Mougeotia*, *Oedogonium*, *Hyalotheca dissiliens*, *Cladophora crispata*, *Lepochromulina*, *Chrysostephanosphaera*	Eisen, selten außerdem Kalk (an *Oedogonium*)	Kiew (Ukraine); Berlin-Waidmannslust; Berlin-Dahlem; Löt-Malmby (Mittelschweden); Aneboda (Südschweden); Torda (Ungarn); Hohe Tatra (Slowakei); Kolozvár (Ungarn); Brünn (Mähren)
2	graubraun	klumpig-kugelig	zerstreut	*Enteromorpha intestinalis*	Eisen	Torda (Ungarn)
3	lebhaft rostrot	gürtelartig, flach	zerstreut	*Microspora pachyderma*, *Chaetomorpha* sp.	Eisen	Sepsi (Ungarn); Bikszád (Ungarn); Kispest (Ungarn)

Sideroderma Naum.

Die Gattung *Sideroderma* ist nach Naumann typisch für viele Neustonbildungen sowie für den Aufwuchs in Aneboda und wurde bisher nur dort sowie in einer Rohkultur mit Breslauer Quellwasser aufgefunden. Es handelt sich um Bakterien des Stäbchentypus; die Zellen sind in später vererzende Gallerten eingelagert, sie liegen im Gegensatz zu *Siderocystis* regelmäßig hintereinander angeordnet. Ihre Länge schwankt zwischen 2,5 und 5 μ, ihre Breite zwischen 0,5 und 1,25 μ. Bisher zwei Arten.

Sideroderma rectangulare Naum.

Die Zellgröße beträgt regelmäßig 3×0,5 μ, die Zellen sind zu zweit hintereinander angeordnet. (Abb. 8.)

Zu dieser Spezies gehört auch die vom gleichen Verf. unter dem Namen *Siderocystis duplex* beschriebene Form, die als Aufwuchsbildner in Aneboda recht häufig sein soll. Da ihr „wesentlichstes Kennzeichen" darin besteht, daß die Bakterien „mehrerenteils zu zweien hintereinander orientiert sind", darf diese Form schon von vornherein nicht zu *Siderocystis* gezählt werden, denn deren wesentlichstes Kennzeichen ist bekanntlich eine regellose Anhäufung der Stäbchen innerhalb der Gallerte. Gleichfalls ist eine andere Form zu streichen, die von Naumann unter dem Namen *Sideroderma tenue* beschrieben wurde, und zwar aus folgenden Gründen: 1. Die Diagnose stimmt wörtlich mit der für *S. rectangulare* gegebenen überein. 2. Die von Naumann gegebene schematische Zeichnung läßt keinen Unterschied zwischen beiden Arten erkennen.

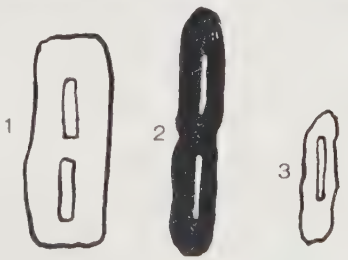

Abb. 8. *Sideroderma rectangulare* Naum. (schematisch); nach Naumann.

Da außerdem auch die Standorte übereinstimmen, besteht kein Grund, eine Trennung vorzunehmen, weshalb der Artname *S. tenue* zu streichen ist, da der Organismus zu *S. rectangulare* gestellt werden muß.

Brussoff (6, 7) beschrieb zwei Eisenbakterien, die er in eine neue Gattung *Ferribacterium* einreiht. Die Gattungsdiagnose enthält aber sowohl Kennzeichen des eben beschriebenen Genus *Sideroderma* wie auch solche von *Siderobacter* und ist auch sonst im Vergleich zu ähnlichen Diagnosen für Eisenorganismen wenig kennzeichnend. Wir schließen uns daher Naumann an, der die beiden dieser Gattung angehörenden Formen *F. duplex* und *F. calceum* zu *Sideroderma* bzw. *Siderobacter* stellt. Sie gelangen daher bei den betreffenden Gattungen zur Besprechung.

Sideroderma duplex (Brussoff) Naum.

„Die Länge der Stäbchen mit dem Gallerthof schwankt zwischen ca. $2^1/_2$ und 5 μ, die Breite ist ca. $1^1/_4$ μ gleich und ungefähr dieselbe bei allen Individuen." Der Organismus „hat meistens die Form eines Doppelstäbchens mit abgerundeten Ecken, erscheint aber auch in der Form von Stäbchen und kurzen Ketten". In den meisten Kulturen besteht jedes Individuum „aus drei Elementen: dem inneren Stäbchen, dem es umgebenden Gallerthof und der Eisenausscheidung um ihn herum". Die Eisenspeicherung ist nicht bei allen Organismen anzutreffen, sondern fakultativ. Aufgefunden im Neuston einer Rohkultur aus Breslauer Quellwasser mit Torfzusatz.

Da aus Brussoffs Angaben hervorgeht, daß die Eisenspeicherung nicht in der Gallerte, sondern außerhalb um diese herum vor sich geht, ist es hier sehr fraglich, ob der Organismus überhaupt etwas mit der Fe-Fällung zu tun hat, oder ob er nicht gerade im Gegenteil eine eisenfreie Form darstellt, die im Neuston aufwächst.

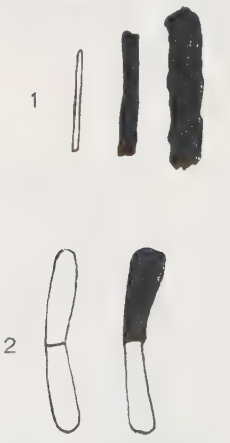

Abb. 9. *Siderobacter*, 1 = *S. lineare* Naum. 2 = *S. duplex* Naum. Verschiedene Vererzungsstadien; (schem.) nach Naumann.

Siderobacter Naum.

Zu dieser Gattung stellt Naumann alle die einzelligen Formen, welche allseitig „direkt an ihrer Membrane" vererzen, also keine Gallertumhüllung besitzen. Seine Diagnose lautet: „Cellulae bacilliformes, membrana ipsa oxido ferrico imbibata." Die drei aufgefundenen Arten treten im Neuston auf. Sie scheinen recht selten zu sein.

Siderobacter lineare Naum.

Die Länge der Zellen beträgt 5 μ, ihre Breite 1,2 μ. „Sie treten stets einzeln, niemals in Reihen geordnet auf." Außer der nebenstehenden schematischen Zeichnung (Abb. 9, 1) fügt Naumann zur Erläuterung ein charakteristisches Übersichtsmikrophoto bei.

Siderobacter duplex Naum.

Die Zellen sind etwas kürzer und breiter als die der vorigen Art, nämlich 3,5×1,5 μ. Sie „zeichnen sich vor allem durch ihre Wuchsform aus", die Zellen sind nämlich zu zweien mit den Schmalseiten aneinander gelagert (s. Abb. 9, 2).

Siderobacter calceum (Brussoff) Naum.

Länge der Zellen 5—7,5 μ, Breite etwa 0,8 μ. Zellen entweder einzeln oder zu zweien bzw. dreien aneinander gelagert, seltener auch zu kurzen Ketten angeordnet. *S. calceum* „ist eine stäbchenförmige, bewegliche, sporenbildende Bakterie, welche in einer und derselben Nährlösung gleichzeitig in eisenfreien und eisenspeichernden Formen vorkommt". Die eisenspeichernden Formen treten nur im Neuston auf, die eisenfreien in der Nährflüssigkeit und im Bodensatz. „In jüngeren Kulturen haben die eisenspeichernden Formen ganz regelmäßige Konturen, ... in älteren nehmen sie ganz unregelmäßige und sehr verschiedenartige Konturen an". Im letzteren Fall „besteht jedes Individuum aus drei Elementen: einer dunkleren inneren Partie — offenbar dem eigentlichen Zellkörper — „der sie umgebenden goldglänzenden Membran und einer scharf hervortretenden, dunklen Peripherielinie um diese herum". Die Berlinerblauprobe verläuft stets positiv. *S. calceum* „entwickelt sich in rein mineralischen Lösungen nicht, gedeiht dagegen ausgezeichnet in Substraten, welche viel organische Substanzen enthalten (Klärschlamm, Pepton, Fleischbouillon)". Es vermag sich bei Abwesenheit von Eisen einwandfrei zu entwickeln, kann aber andererseits auch das Eisen durch Mangan ersetzen. Besonders auffällig ist, daß bei Abwesenheit von Eisen und Anwesenheit von Kalk auch der Kalk gespeichert wird.

In einer mit Klärschlamm beschickten Rohkultur aufgefunden.

Bacillus manganicus Beijerinck.

Bei seinen Versuchen über denitrifizierende Bodenbakterien entdeckte Beijerinck (4) einen lebhaft beweglichen, manganspeichernden Bazillus, den er in Reinkultur züchtete. Es stellte sich heraus, daß der Organismus nicht imstande war, seinen Energiebedarf durch Chemosynthese zu decken, vielmehr war zum Wachstum stets eine organische Kohlenstoffquelle erforderlich. Die Diagnose von Beijerinck lautet[1]): „*Bacillus manganicus* Beij. Eine Bodenbakterie, die auf Nähragar wächst, der mit einer Schicht Manganokarbonat bedeckt ist, und die das Mangan oxydiert. Die Bakterie erzeugt braune oder schwarze Flecke von 0,5—1 cm Durchmesser, in denen entweder lose Mikrokokken von 0,2—0,7 μ vorkommen, oder kleine, fest in Manganioxyd eingekapselte Körnchen oder Knöpfchen; diese bestehen aus sehr kleinen, stark beweglichen Stäbchen von 0.2 μ Dicke und 1,5—2 μ Länge. Auf Agarplatten mit 0,05 % Manganolaktat schwaches, langsames Wachstum zu kleinen, braunen Kolonien von beweglichen Bazillen (s. o.). Auf reicheren Kulturböden kein Wachstum."

Ochrobium Perfiliev.

Diese Gattung tritt ziemlich verbreitet in der Natur auf, vorwiegend in den bodennahen Wasserschichten sowie in den oberen Schlammzonen von Seen und Wasserläufen, die stets eine geringe Sauerstoffspannung zeigen.

1) Die Diagnose mußte an mehreren Stellen aus sprachlichen Gründen etwas verändert werden.

Charakteristisch ist die Ausbildung eines beweglichen, begeißelten Stadiums, das meist einzellig ist, und eines unbeweglichen Stadiums, in dem viele Zellen (bis 20 und mehr) zu einer gallertumhüllten Kolonie zu verkleben pflegen. Die Form der Zellen ist oval oder kurz-zylindrisch mit abgerundeten Ecken. Einzige Art

Ochrobium tectum Perf. (Synonym: *Sideroderma limneticum* Naum.).

Die Größe der Zellen beträgt 1,5—5 μ in der Länge, 0,5—3 μ in der Breite. Das Plasma zeigt meist körnige Struktur. Die Zellen werden von einem Gallertfutteral umhüllt, welches infolge der Eiseneinlagerung gelbbraun gefärbt, meist homogen, seltener körnig ist und gelegentlich eine blasse äußere Schicht über einer dichten inneren erkennen läßt.

Bei der Zellteilung schnürt sich auch diese Hülle mit durch, was auf ihren engen Zusammenhang mit dem Protoplasma hindeutet. Sie besitzt an ihrem einen Ende eine Einbuchtung, in der bei den beweglichen Stadien zwei ungleich lange Geißeln befestigt sind. Das Vorhandensein von Geißeln wurde bis-

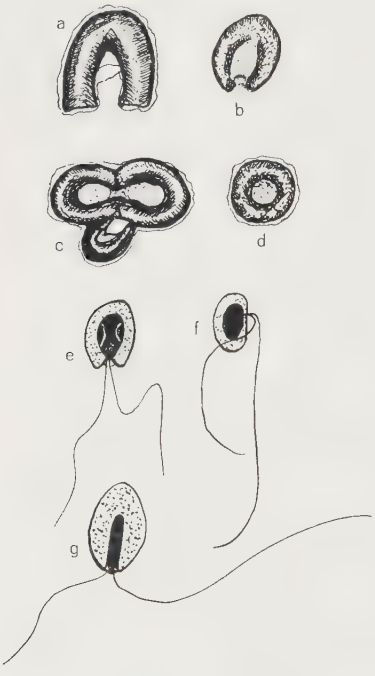

Abb. 10. *Ochrobium tectum* Perf. a—d unbegeißelte und Kolonietypen; e—g begeißelte Formen. Vergr. ca. 2000. Orig.

Abb. 11. *Ochrobium tectum*; nach Perfiliev.

her nur vermutet, es gelang mir zum erstenmal, sie in mehreren Präparaten durch starke Überfärbung mit Gentianaviolett direkt nachzuweisen (s. Abb. 10).

Die Vermehrung erfolgt durch Teilung, und zwar erfolgt die erste Teilung stets quer, erst später tritt auch Längsteilung ein. Die neu entstandenen Organismen bilden meist eine Kolonie, wobei sie mit ihren Hinterenden aneinandergeheftet bleiben. Durch eine Quer- und darauffolgende Längsteilung entsteht der häufigste Kolonietypus, die Tetrade (Abb. 11, unten rechts). Durch regelmäßige Aneinanderlagerung mehrerer solcher Tetraden kann dann ein Gebilde zustande kommen, welches in gewissem Sinne an Chlamydobakterien erinnert. Die begeißelten Einzell-Stadien und die Tetraden, die gelegentlich

auch noch drehende Bewegungen auszuführen scheinen, bilden Massenvegetationen (Wasserblüte) in den bodennahen Wasserschichten, seltener finden sie sich auch in einem höheren Niveau. In Kulturen wachsen sie in bestimmten Bakterienniveaus meist direkt über dem Schlammrand auf. Die beweglichen Stadien sind selten zu erhalten. Im Schlamm selbst bilden die Organismen oft größere Polster, die kapselartig in eine gemeinsame Gallerte eingebettet sind und wahrscheinlich Ruhestadien darstellen.

Ochrobium tectum wurde 1921 von Perfiliev und kurz darauf, unabhängig davon, unter dem Namen *Sideroderma limneticum* von Naumann beschrieben. Da die Maße der Naumannschen Form bei sonst gleichen Merkmalen erheblich hinter den Angaben von Perfiliev zurückbleiben, ist vielleicht zu erwarten, daß diese kleinen Formen eine eigene Art darstellen. Bei meinen Beobachtungen fanden sich die größeren und kleineren Formen fast stets gemeinsam. Möglicherweise gehört der Organismus zur Gruppe der Flagellaten, doch sind bisher weder Zellkerne noch pulsierende Vakuolen festgestellt.

Naumanniella n. g.

Im Sommer 1931 wurden auf einer Exkursion zur genaueren Untersuchung der Eisenniederschläge am Teufelssee b. Freienwalde (Mark) im Neuston eines Quelloches Organismen beobachtet, auf deren charakteristische Formen keine der bisherigen Gattungs- oder Artdiagnosen anzuwenden waren. Ich reihe sie daher in eine neue Gattung ein, die ich zu Ehren des bekannten schwedischen Limnologen E. Naumann-Lund *Naumaniella* n. g. benenne. Die hierher gehörigen Organismen sind stäbchenförmig und von einer dicken Membran umkleidet, in der das Eisen abgelagert wird. Die Stäbchen, die abgerundete Ecken besitzen, sind entweder geradegestreckt oder biskuitförmig eingeschnürt, bisweilen auch gekrümmt. Ihre Länge schwankt zwischen 10 und 3,5 μ, ihre Breite zwischen 3,75 und 1,4 μ (einschl. der vererzten Membran). Die Zellen liegen einzeln und vererzen nur randlich in eigentümlichen Wülsten (Abb. 12, 13), während der größere Teil der Zellen eisenfrei bleibt. Sie sind deswegen — bei flacher Lagerung — stets auch ohne Färbung oder Auslösung des Eisens gut erkennbar. Durch ihre im Verhältnis zur Zellgröße geringe Eisenspeicherung sind sie zu den heterotrophen Eisenbakterien zu rechnen, worauf auch ihr Vorkommen in meso- bis polysaproben Gewässern hindeutet. Die Eisenspeicherung ist daher auch wohl kaum von physiologischer Bedeutung, sondern stellt nur einen Schutzpanzer dar, wie wir ihn auch bei gewissen Eisenflagellaten (z. B. *Trachelomonas*) sehen. In bezug auf die Form der eigentlichen Zelle bestehen Beziehungen sowohl zu *Sideroderma* als auch zu *Siderobacter*. Immerhin ist aber der ganze Habitus und auch der Vererzungstypus dieser beiden Gattungen so verschieden von dem der *Naumanniella*, daß diese nicht bei der einen oder anderen Gattung einzuordnen ist. Die Vermehrung erfolgt durch Teilung, wobei sich auch die randliche Wulst mit durchschnürt. Es konnten nämlich mehrfach kurze Zellen beobachtet werden, die eine solche Teilung durchgemacht hatten. Die eine Schmalseite hatte dementsprechend nur eine dünne Membran mit geringer Eiseneinlagerung (Abb. 12h). In einigen

Fällen waren auch zwei noch aneinanderhängende Zellen sichtbar, deren Durchschnürung schon vollzogen war (Abb. 12 g). Die Länge dieser beiden Zellen überstieg hierbei die einer normalen Zelle nur unbedeutend. Außer dieser Art der Fortpflanzung scheinen die erwachsenen Zellen die Möglichkeit zu haben, bei zu sehr fortgeschrittener Membranvererzung ihre „Schale" zu verlassen und von neuem eine Randwulst aufzubauen. Die gelegentlich beobachteten leeren Eisenränder, wie auch das nicht allzu seltene Auftreten von Formen mit nur schwach gelb gefärbten und relativ dünnen Rändern deuten darauf hin (Abb. 12 d). Bewegliche Stadien wurden nicht beobachtet. *Naumanniella* wurde im Neuston und im Benthos gefunden.

Zusammenfassung der Gattungsmerkmale: Zellen stäbchenförmig, mit abgerundeten Ecken; stets einzeln gelagert. Geradegestreckt, biskuitförmig eingeschnürt oder gebogen. Vererzung in eigentümlichen, membranösen Randwülsten, die den größeren Teil des Zellkörpers freilassen. Vermehrung durch Zellteilung unter gleichzeitiger Durchschnürung der Randwulst. Heterotroph. Im Neuston und im Benthos. Bisher zwei Arten.

Naumanniella neustonica n. sp.

Im Sommer 1931 im Neuston der Eisenquellen am Teufelssee b. Freienwalde (Mark) entdeckt[1]), im Frühjahr 1932 auch im Neuston eines Quelloches

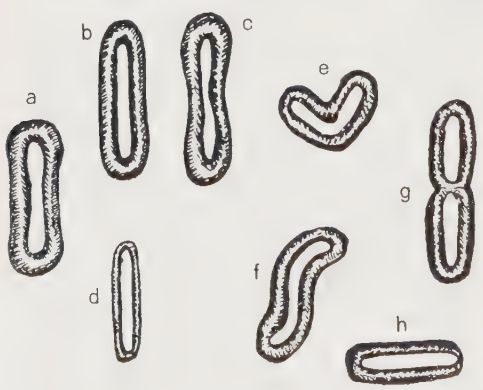

Abb. 12. *Naumanniella* n. g. a—c *N. neustonica* (typisch), e, f *N. minor*; Zellen weiß gehalten. Weitere Erklärungen im Text. Orig.

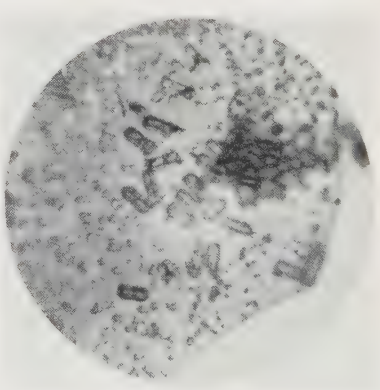

Abb. 13. *Naumanniella neustonica* n. sp. im Neuston; der Bruchrand des Häutchens ist deutlich zu sehen. Vergr. 945. Orig.

bei Stolzenhagen an der Oder aufgefunden. Die Organismen einschließlich der Randwülste sind etwa $6 \times 2{,}5$ µ groß (4,9 –10 µ × 1,8—3,3 µ), der innere Zellkörper hat ein Ausmaß von etwa $3{,}75 \times 1{,}3$ µ. Die Zellen sind stets geradegestreckt oder in der Mitte leicht eingeschnürt, nie gebogen. Bei Auslösung des Eisens durch Salzsäure bleibt um die Zellen herum eine undeutlich sichtbare Schleimhülle erhalten, die sich bei Anwendung der Berlinerblauprobe infolge des noch darin befindlichen Eisens blau färbt. Der Organismus ist

1) Nähere Beschreibung bei Dorff (15), vgl. auch oben S. 9.

wegen seiner im Verhältnis zu den anderen Haplobakterien bedeutenderen Größe und wegen der leichteren Erkennbarkeit der Zellen ein gut brauchbares Demonstrationsobjekt (Abb. 12 a—d, h).

Artdiagnose: *Naumanniella neustonica* n. sp. Länge der Zellen 4,9—10 μ, Breite 1,8—3,3 μ; geradegestreckt oder in der Mitte leicht eingeschnürt, nie gebogen; Vorkommen in Neuston.

Naumanniella minor n. sp.

Im Absatz einer der hiesigen Landesanstalt im Herbst 1931 zur Untersuchung zugegangenen Probe aus dem eisenhaltigen Brunnen einer Schlämmerei in Worms (Rhein). Die Zellgröße ist im Verhältnis zu der vorigen Art geringer, sie beträgt im Durchschnitt 3,4×1,4 μ (3,1—3,6 μ × 1,2—1,5 μ), der innere Zellkörper ist 3,0×0,9 μ groß. Die Zellen treten in verschiedenen Formen auf, es finden sich neben geraden und eingeschnürten (wie bei *M. neustonica*) auch gebogene und doppelt gekrümmte. (Abb. 12 e, f.)

Die Zellen nehmen die üblichen Färbemittel gut auf, die Ränder geben mit Ferrozyankalium und HCl deutliche Eisenreaktion. In bezug auf die Art der Membranvererzung zeigen sie die gleiche Ausbildung wie die vorher beschriebene Art.

Artdiagnose: *Naumanniella minor* n. sp. Länge der Zellen 3,1—3,6 μ, Breite 1,2—1,5 μ, geradegestreckt, eingeschnürt, einfach oder doppelt gekrümmt. Im Bodensatz eines Brunnens mit eisenhaltigem Wasser.

Gallionella Ehrenberg[1])
(***Spirophyllum*** Ellis).

Die ausgewachsenen Zellen besitzen eine bohnenförmige Gestalt oder sind bikonvex, dann in der Aufsicht rundlich bis oval. Der erstgenannte Typus ist wahrscheinlich leicht schraubenförmig gekrümmt, was infolge der Kleinheit der Zelle nicht direkt beobachtet werden kann.

Die bohnenförmigen Zellen nehmen das Eisen von der konvexen Seite aus gelöst auf und exkretieren es von der konkaven Seite aus in Form eines Stielchens. Die Größe der Zellen schwankt zwischen 1,5 und 3 μ in der Länge und 0,5—1 μ in der Dicke; sie sind normal färbbar. Das ausgeschiedene Stielchen ist entweder flach-bandförmig gedreht und dann verzweigt oder in der Aufsicht drehrund, dann entweder umeinander geschlungen oder einfach unverzweigt, mit einer Haftscheibe festsitzend. Die Vermehrung erfolgt durch Zweiteilung der Zelle. Bei den Arten mit bohnenförmigen Zellen bleiben die von den Tochterzellen abgeschiedenen Stielchen im Zusammenhang mit dem Stiel der Mutterzelle, so daß nach mehrfachen Teilungen ein verzweigtes „Bäumchen" entsteht, dessen Stamm und Äste lediglich aus den Ausscheidungsprodukten der an den äußersten Spitzen sitzenden Zellen bestehen. Die Stielchen sind in Salzsäure restlos löslich. Die Lebensweise ist fakultativ autotroph, was sowohl aus der

1) Bezüglich meiner Ansicht über die Einheitlichkeit der Gattung siehe S. 25, 26.

im Verhältnis zur Zellgröße außerordentlich starken Eisenabscheidung hervorgeht, als auch aus dem normalen Vorkommen in sehr nährstoffarmem Wasser.

Weit verbreitet in Wasserleitungen, Brunnen, Quellen, Wasserbecken und an anderen Orten. Vier Arten.

Abb. 14. Teil eines dichotomisch verzweigten Bäumchens von *Gallionella ferruginea*. Rechts oben: a typische ausgewachsene Zelle; b und c Teilungsschritte. Vergr. a, b, c 2400, d 1000; nach Cholodny.

Gallionella ferruginea Ehrbg.[1]).

Die bekannteste und am weitesten verbreitete Art. Die einzelnen Zellen messen bis 1,5 μ in der Länge und 0,5—0,6 μ in der Breite. Deutlicher Unterschied zwischen der konvexen Vorderseite und der konkaven Hinterseite, die das Eisen abscheidet. Kurz nach der Teilung pflegen sich die von den jungen Zellen abgeschiedenen Stielchen, die zunächst nicht flachen, sondern mehr rundlichen Querschnitt zeigen, umeinander zu verschlingen. Später wachsen sie auseinander und bilden dann bandförmige Stiele aus. (Abb. 14.)

Es treten auch Formen auf, die niemals derartige flache Bänder bilden, sondern fadenartig bleiben und sich umschlingen; in diesen Fällen zeigen sie an einem Ende eine geschlossene Schlaufe. (Abb. 15.) An der Spitze jedes Stielchens sitzt eine Zelle, die sich bei der geringsten Erschütterung ablöst. Die Stiele sind sehr spröde und zerfallen leicht in Bruchstücke, die früher als die eigentlichen Organismen betrachtet worden sind. Die Länge der einzelnen Zweige, die jeweils das Ausscheidungsprodukt einer Zelle von ihrer Entstehung bis zur Teilung darstellen, überschreitet nicht 200 μ. Besonders verbreitet in ausgesprochen nährstoffarmem Wasser, tritt *Gallionella ferruginea* doch als formbildender Bestandteil des Aufwuchses auch in eutrophierten Gewässern auf. So beobachtete Süßenguth (65) große Watten davon in Aquarien, sowie in einem Teich des Botanischen Gartens München, dessen Wasser außer an gelösten Eisenverbindungen reich an organischen Substanzen sowie an Na und K war. Auch Naumann (43) gibt an, daß sie sehr reichlich in den Ockerniederschlägen gewisser Anebodaer Kleinsümpfe zu finden sei, die ebenfalls viel organische Stoffe enthalten können.

Abb. 15. *Gallionella*-Faden mit geschlossener Schlaufe an einem Ende. Schematisch. Orig.

Meist ist sie an leblosen Gegenständen, z. B. Eisenröhren in Wasserwerken, festgeheftet, doch wurde sie auch epiphytisch auf einigen Algen (*Mesocarpus*, *Vaucheria*) beobachtet (65).

Diese Art ist ausgesprochen psychrophil, ihre Optimaltemperatur liegt nach Lieske (31) bei 6° C, doch vermag sie auch schon ausgezeichnet bei 0—0,5° zu wachsen. In der freien Natur wird sie daher vornehmlich im Frühjahr zur Zeit der Schneeschmelze beobachtet. An gleichmäßig kühlen Orten, wie in tiefen Brunnen und in Wasserwerken, ist sie das ganze Jahr hindurch verbreitet. Unter anderen fand ich große Massenanhäufungen davon in den unterirdischen Drainröhren des Svartökärr-Moores in Südschweden. Sie ist dort wegen der geringen Temperaturschwankungen zu allen Jahreszeiten in gleicher Menge anzutreffen; ihr Massenauftreten hat schwere Unzuträglichkeiten zur Folge gehabt, da die nach der Kultivierung des Moores gelegten Drainröhren von 7—12,5 cm Durchmesser in wenigen Jahren völlig ver-

1) Von Cholodny in terminologisch ungebräuchlicher Weise *Gallionella ferruginea* (Ehrenberg) Cholodny benannt. Bezüglich der abweichenden systematischen Prinzipien des genannten Verf.s siehe auch S. 31, 33, 38, Fußnote.

stopft wurden und dadurch die sehr notwendige Entwässerung ins Stocken geriet[1]).

Makroskopisch zeigen die *Gallionella*-(*Spirophyllum*-)Kolonien verschiedenartige Bilder. Typisch für reine Massenvorkommen in der Natur sind die dunkelroten, kugeligen Konkretionen, wie ich sie a. a. O. (Lit. 14, 15) näher beschrieben habe. In manchen anderen Fällen kommt es nur zur Ausbildung von losen Watten, besonders wenn noch andere Eisenorganismen am Aufwuchs beteiligt sind. Auf eine im fließenden Wasser auftretende besondere Wuchsform machen Perfiliev (56) und Naumann[2]) aufmerksam: den Aufwuchs in harten, knolligen, meist halbkugeligen Beulen, in denen die Stiele radial nach außen angeordnet sind. Die lebenden Zellen sitzen dann nur an der Oberfläche der Beule. Während Perfiliev angibt, daß diese Kolonien im Verhältnis zu der von ihm beschriebenen Gattung *Sphaerothrix* relativ locker waren, erhielt Naumann ganz feste Beulen, die im Äußeren den See-Erzen vom Pfennigtypus glichen, aber eben aus *Gallionella*-Stielen bestanden.

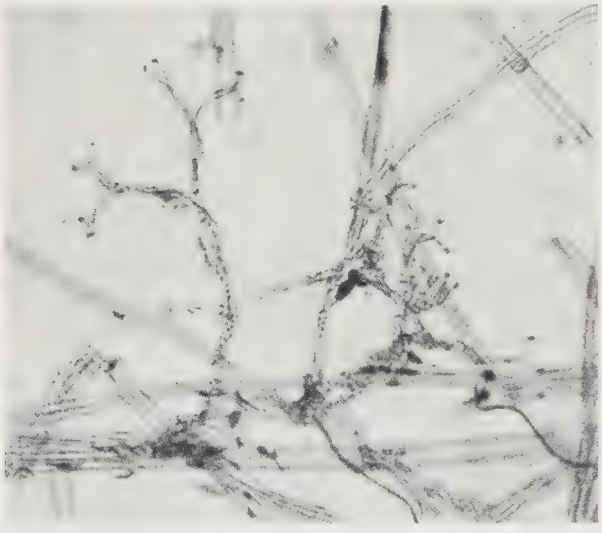

Abb. 16. *Gallionella minor*. Erklärung im Text. Vergr. ca. 1000; nach Cholodny.

Gallionella minor Chol.[3]).

Diese Art ist der vorigen in bezug auf Zellgröße und Vermehrung gleich. Sie unterscheidet sich von ihr durch geringere Länge des Stielchens (< 30 μ) sowie durch krustenartige Umbildung der älteren Stiele. Die Zellen sind fester mit dem bandförmigen „Bäumchen" verbunden, dessen Wachstum sehr langsam vor sich geht. Vorkommen gemeinsam mit *G. ferruginea*. (Abb. 16.)

Gallionella major Chol.

Von Cholodny in Quellen des Kaukasus aufgefunden. Sie ähnelt *G. ferruginea* weitgehend, unterscheidet sich aber durch wesentlich größere

1) Diese Fragen wurden eingehender bereits in einer früheren Veröffentlichung (14) besprochen.

2) Mündliche Mitteilung.

3) Perfiliev bestreitet die Echtheit dieser Art. Er glaubt, daß sie nur eine Involutionsform von *G. ferruginea* darstellt.

Zelldimensionen. Die Zellen sind im erwachsenen Zustand 3 μ lang und 1 μ breit, haben also etwa das achtfache Volumen von *G. ferruginea*. In der Regel besitzen sie eine oder mehrere Vakuolen, die wahrscheinlich mit einer Eisenoxydverbindung angefüllt sind. Gelegentlich treten auch Zellen von doppelter Länge (7—7,5 μ) auf, die entsprechend ihrer Länge auch doppelt breite Bänder liefern; diese Zellen gehören aber zu keiner neuen Art, sie sind aus einer normalen Zelle hervorgegangen, die nur den Teilungsschritt unterlassen und deswegen die abnorme Länge erreicht hat. (Abb. 17.) Die Stiele zeigen am basalen Ende stets längere Windungen als am apikalen Ende.

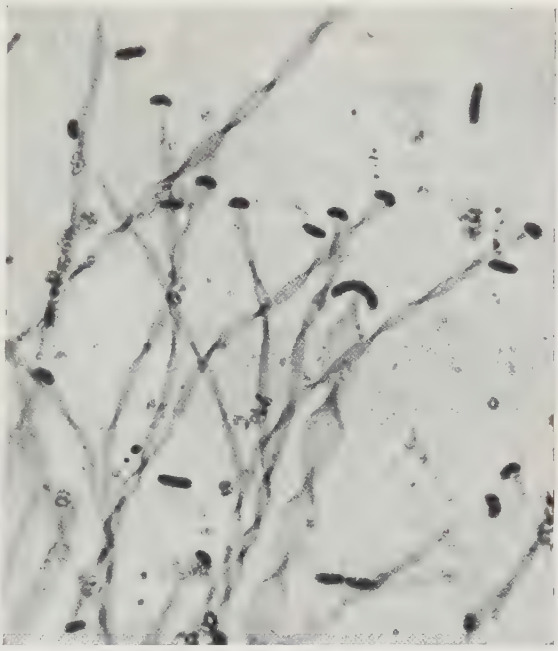

Abb. 17. *Gallionella major*. Meist normale Zellen, Mitte rechts Riesenzelle mit doppelt breitem Stiel. Vergr. ca. 1300; nach Cholodny.

Gallionella corneola n. sp.

Diese Form besitzt in bezug auf den Zelltypus und die Art der Fe-Abscheidung große Ähnlichkeit mit *Gallionella*. Da aber genauere Untersuchungen noch nicht vorliegen, kann sie nur mit gewissen Einschränkungen hierher gestellt werden; die Gattung *Gallionella* muß zur Zeit eben noch als eine Sammelgattung angesehen werden.

In Proben aus einem stark eisenhaltigen Entwässerungsgraben bei Löt-Malmby (Mittelschweden) fand sich im Sommer 1931 der abgebildete Organismus (Abb. 18), der submers an verschiedenen Wasserpflanzen angeheftet war. An Eisenbakterien traten außerdem in diesem Absatz *Leptothrix ochracea*, *Gallionella ferruginea* und *Siderocapsa* sp. auf.

Die Zellen haben im Querschnitt die Form einer bikonvexen Linse, in der Aufsicht sind sie rundlich oder oval, seltener erscheinen sie stäbchenförmig gestaltet; ihre Länge beträgt etwa 2,5—3 μ, ihre Dicke in der Mitte 0,5—0,6 μ. Sie sitzen ziemlich locker an den Enden eines von ihnen ausgeschiedenen unverzweigten Stielchens, das aber nicht in sich gedreht oder verschlungen, sondern nur leicht bogenförmig gekrümmt ist. (s. Abb.) Im Querschnitt ist es entsprechend der Zellform kreisförmig oder elliptisch. Das

Stielchen besteht aus Eisenhydroxyd, es löst sich in Salzsäure restlos auf; seine Form ist eigentümlich füllhornartig. Dies kommt dadurch zustande, daß die Zelle in einem jüngeren Stadium entsprechend ihrer geringeren Größe ein dünneres Stielchen ausscheidet; mit dem regelmäßigen Wachstum der Zelle verbreitert sich dann auch der Stiel entsprechend. Er erreicht eine Länge von 15—30 μ und ist basal gemeinsam mit mehreren anderen (3—8) in einer mehr oder weniger deutlich ausgeprägten Haftscheibe am Substrat befestigt. Weitere Einzelheiten sind zur Zeit noch nicht bekannt. Ich ordne den Organismus unter dem Namen *Gallionella corneola* n. sp. ein und gebe folgende Diagnose: Zellen im Querschnitt bikonvex oder stäbchenförmig, in der Aufsicht kreisförmig oder oval; 2,5 -3 μ lang, in der Mitte 0,6—1 μ breit. An einer Seite Ausscheidung eines einfachen, unverzweigten, meist bogig gekrümmten Stieles aus Eisenhydroxyd, das füllhornartig gestaltet ist und dessen Länge 15—30 μ beträgt. 3—8 Stiele basal in einer Haftscheibe befestigt. Submers auf Wasserpflanzen.

In einem eisenhaltigen Wiesengraben bei Löt-Malmby (Mittelschweden) aufgefunden.

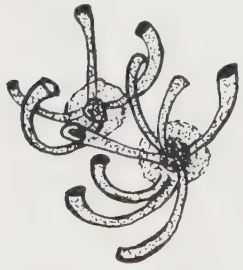

Abb. 18. *Gallionella corneola* n. sp. Vergr. ca. 1000 (Zellen schwarz gehalten); Orig.

Der Vollständigkeit halber sei noch auf zwei von Butkewitsch (35) aufgestellte Arten hingewiesen, *G. tortuosa* und *G. reticulosa*. Nach Ansicht von Cholodny, der ich mich anschließen möchte, lassen sich diese Arten nicht aufrechterhalten, da ihre Kennzeichen und Merkmale nur auf Feststellungen an Laboratoriums-Rohkulturen beruhen und außerdem keine wichtigen Abweichungen gegenüber *Gallionella ferruginea* aufweisen.

Die Bezeichnung „Spirophyllum" wurde den Gattungs- und Artnamen hinzugefügt, um die systematische Unsicherheit der Gattung zu kennzeichnen. Bei genauerem Literaturstudium und auf Grund eigener Untersuchungeu möchte ich sagen, daß hier wirklich zwei verschiedene Typen vereinigt zu sein scheinen.

Leider war es bisher nicht möglich, diese interessante Frage durch Kulturversuche endgültig zu klären, doch hoffe ich in Zukunft noch weiter darauf eingehen zu können.

Daher mußte auch die systematische Umgruppierung unterlassen werden, wodurch den morphologischen Angaben eine gewisse Zwiespältigkeit nicht erspart bleiben konnte (vgl. Lit. Nr. 10, 27, 50).

2. Trichobakterien. Zellfäden.

Wir gelangen jetzt zu den seit längerer Zeit bekannten Fadenbakterien, die sich von den bisher besprochenen Formen durch die geordnete fädige Lagerung, meist in Scheiden, trennen lassen. Diese Formen bilden den Hauptbestandteil der losen Ockerablagerungen in der Natur und in den biologischen Enteisenungsanlagen der Wasserwerke; nach neueren Forschungen sind sie aber auch an der Bildung mancher See-Erze beteiligt. Sie waren lange Zeit der einzige bekannte Eisenbakterientypus, und es ist ganz verständlich, daß der Begriff

„Eisenbakterie" zunächst einen so engen Sinn hatte. Die Mehrzahl der Formen — alle altbekannten — ist nämlich imstande, fakultativ autotroph oder doch wenigstens mixotroph zu leben, also Energie aus der Eisenspeicherung zu gewinnen. Es lag unter solchen Verhältnissen bis zur Auffindung der heterotrophen Formen durchaus nahe, dieses auffällige physiologische Phänomen zu einem Kriterium der Zugehörigkeit zur Gruppe der Eisenbakterien zu machen (vgl. S. 5).

Die Reihenfolge ist so gewählt, daß die scheidenlosen Fäden als die primitiveren Formen an den Anfang gestellt werden.

Sideromyces Naum. (Synonym: *Mycogallionella* Naum.)

Die Gattung ist noch recht unvollkommen bekannt. Die Zellfäden vererzen direkt an der Membran, sie liegen typisch zu mehreren gewunden in einer ebenfalls lebhaft vererzenden Gallerte. Im Aufwuchstypus ähneln sie im vererzten Zustand den rostfleckenbildenden Stäbchen (wie z. B. *Siderocystis*). Über die Art der Vermehrung liegen keine Beobachtungen vor. Unverzweigt. Im Aufwuchs und im Neuston aus den Kleinsümpfen bei Aneboda bekannt und dort (nach Naumann) weit verbreitet. Nur eine Art.

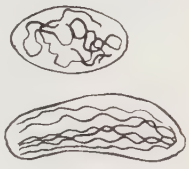

Abb. 19. *Sideromyces glomerata* Naum. (schematisch) nach Naumann.

Sideromyces glomerata Naum.

Länge der Fäden 15—25 μ, Breite etwa 0,5 μ. Naumann erwähnt, daß „unzweifelhaft ganz ähnliche Strukturen in rein chemisch-physikalischer Weise dargestellt werden". Es kann daher bezweifelt werden, ob die Aufrechterhaltung dieser Gattung auch in Zukunft durchzuführen ist. Mir ist es nur in seltenen Fällen gelungen, einzelne Individuen im Aufwuchs zu erkennen (Abb. 19).

Lieskeella Perfiliev.

Von Perfiliev 1920 in den Gewässern von Alt-Peterhof und in einigen anderen westrussischen Seen in den obersten Schlammschichten aufgefunden. Es liegt hier anscheinend eine Übergangsform zu den Blaualgen vor, wie etwa bei *Leptothrix epiphytica*. Der Organismus wurde seitdem noch nicht wieder aufgefunden oder beschrieben, so daß die Angaben von Perfiliev hier wörtlich wiedergegeben werden sollen. Eine Art.

Lieskeella bifida Perf.[1]).

„*Lieskeella* besteht aus kleinen (0,6×2 –3 μ) stäbchenförmigen Zellen mit abgerundeten Enden, die zu Fäden vereint sind. In der Regel trifft man die Fäden paarweise, wobei sie einander spiralförmig umwinden. Die Zellen sind schwer zu unterscheiden, da sie in gelbliche, schleimige Kapseln mit reichlicher Ablagerung von kleinkörnigem Eisenhydroxyd eingeschlossen sind.

1) Auch als *Lieskeella bifilaris* Perf. bezeichnet.

Die Fäden sind beweglich nach dem Typus der Blaualgen, wobei sie sich zu mehr oder weniger festen Knäueln zusammenrollen können. Bei Färbung mit Methylenblau weisen die Zellen bipolare Granula auf (Metachromatin?).

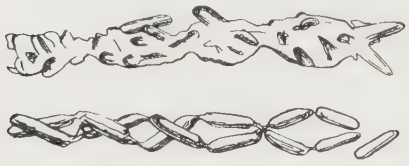

Abb. 20. *Lieskeella bifida* Perf. nach Perfiliev.

In den oberen Schlammschichten von Gewässern mit erhöhtem Eisengehalt lebend, ist dieser Organismus sehr interessant wegen seiner besonderen Bauart, die sich unter den bekannten Formen zunächst nur mit Gallionella[1]) einigermaßen vergleichen läßt" (Abb. 20).

Mycothrix Naum.

Auch die Gattung *Mycothrix* ist sehr ungenau bekannt. Sie beteiligt sich an der Rostfleckenbildung und tritt auch im Neuston auf, entspricht somit etwa dem für Sideroderma bei den Haplobakterien beschriebenen Typus. Sie unterscheidet sich nur durch fädige Lagerung der Zellen in einer Scheide von diesen. Die Zellen liegen in einer unregelmäßig begrenzten Gallerte, die durch Verschleimen der Membranen entsteht und stark zu vererzen pflegt. Zwei Arten.

Abb. 21. *Mycothrix abundans* Naum. (schematisch). Nach Naumann.

Mycothrix abundans Naum.

Die Zellgröße beträgt regelmäßig $2{,}5 \times 0{,}5$ µ. Im Aufwuchs der Anebodaer Kleinsümpfe. (Abb. 21).

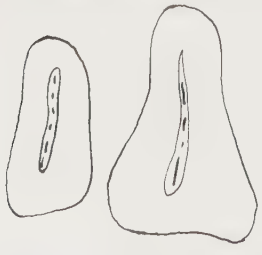

Abb. 22. *Mycothrix clonotricoides* Naum.; nach Naumann.

Mycothrix clonotricoides Naum.

Nach Naumann morphologisch sehr leicht erkennbar. Die Länge der Zellen schwankt zwischen 1,5 und 3,5 µ, was als besonderes Charakteristikum angegeben wird. Der Durchmesser der Gallerte schwankt zwischen 10 und 15 µ. Im Aufwuchs der Anebodaer Kleinsümpfe. (Abb. 22.)

Sphaerothrix Perfiliev.

In Schlammproben aus einem kleinen Torfsee unweit des Seligersees (Bez. Leningrad) entdeckte Perfiliev im Frühjahr 1923 diesen Organismus, mit dem es ihm gelang, eingehende Kulturversuche zu unternehmen. Es stellte sich dabei heraus, daß er eine sehr charakteristische Kolonieform ausbildet,

1) Gemeint sind die zopfförmigen, nicht die flach-bandförmigen Stiele, deren Bildung Perfiliev und andere Verfasser einer gesonderten Gattung zuschreiben.

die eine gewisse Ähnlichkeit mit den früher beschriebenen, beulenförmigen *Gallionella*-Konkretionen aufweist. (Abb. 23.)

Die Gattung tritt anscheinend selten auf, sie wurde bisher nur an dem genannten Ort aufgefunden. Eine Art.

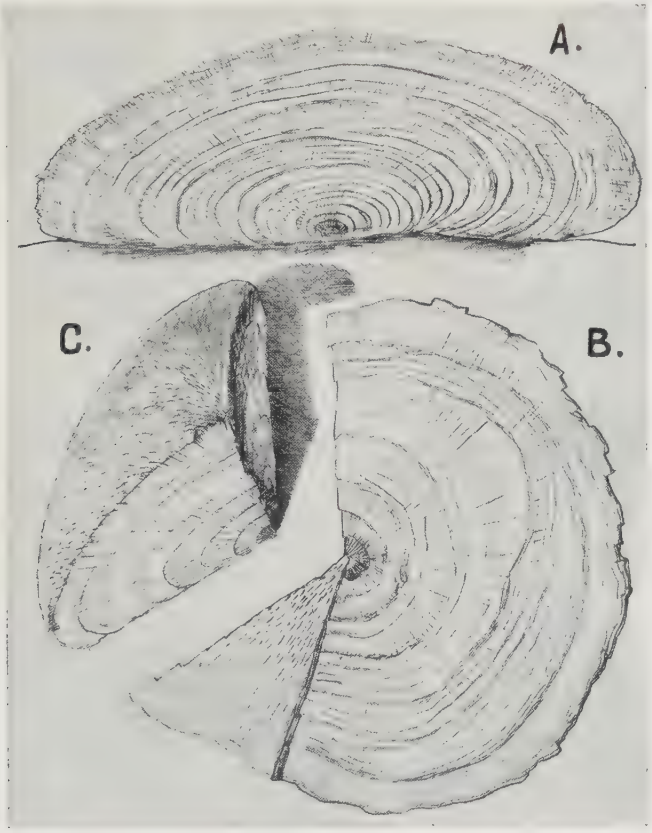

Abb. 23. *Sphaerothrix*-Kolonien in charakteristischen Wuchsformen; A im Längsschnitt, B im Querschnitt, C in räumlicher Darstellung. Vergr. ca. 60; nach Perfiliev.

Sphaerothrix latens Perf.

Da eigene Beobachtungen nicht vorliegen, geben wir die vom Autor gemachten Angaben hier wieder: „Diese Form hat die Gestalt regelmäßiger, mehr oder weniger abgeplatteter, runder Scheiben mit konzentrischem Bau, welche in Kulturen die Größe von 3 mm erreichten. Unter dem Mikroskop zeigen die Kolonien den Bestand aus einer Masse radial auseinandergehender, feinster, doppeltkonturierter Fäden, ungefähr 0,6 im Durchmesser, die von Eisenoxydhydrat imprägniert sind . . . Die kleinen, kurzen, stäbchenförmigen Zellen ($0{,}6 \times 1{,}5$—$2\ \mu$) kann man an der Oberfläche der Kolonien finden, wo sie radial in einer Schicht gelagert sind. In einigen Fällen gelang es, eine Linien-

lagerung der Zellen von 3—4 in einem Faden zu entdecken. — Durch Zugabe von Salzsäure werden die Fäden spurlos aufgelöst und statt der regelmäßigen Kolonien bleiben nur verhältnismäßig kleine, unregelmäßige Anhäufungen der Zellen zurück, die durch Färbung (Gentianaviolett) sichtbar gemacht werden können. Bei sehr sorgfältigem Präparieren der Kolonien kann man ihren Zerfall in einzelne Fadenbündel beobachten, welche an *Cryptothrix*, ‚(Synonym zu *Leptothrix trichogenes* Chol.)' erinnern. Ihre dichotomische Spaltung erinnert an ähnliche Gebilde von *Gallionella* und *Spirophyllum*."

Soweit sich aus den Angaben entnehmen läßt, handelt es sich also um eine fädige Form. Die „doppelt konturierten Fäden" stellen offenbar Scheiden dar. Möglicherweise ist der Organismus daher der Gattung Leptothrix zuzuzählen. Genauere Angaben bleiben aber abzuwarten.

Leptothrix Kützing (Synonym: *Chlamydothrix* Migula).

Die Gattung wurde 1843 von Kützing (117) aufgestellt und den Algen zugerechnet. Migula hat 1900 den Namen *Chlamydothrix* vorgeschlagen, um die Zugehörigkeit des Organismus zu den Bakterien auszudrücken, während Thuret die Diagnose als auf die Blaualge *Lyngbya* passend bezog. Durch das freundliche Entgegenkommen von Herrn Dr. O. Schmidt gelangte ich in den Besitz einer Probe des ursprünglichen Exsikkatenmaterials von Kützing aus dem Herbar des Botanischen Museums in Dahlem; es ging daraus einwandfrei hervor, daß es sich bei der Ursprungsdiagnose um eine Fadenbakterie gehandelt hatte. Der Gattungsname *Leptothrix* wird heute nicht mehr in der Algologie verwendet, dagegen aber seit langem in der Bakteriologie, so daß keinerlei Gründe bestehen, für die eisenspeichernden Formen dieser Gattung einen anderen Namen zu gebrauchen. Die Darstellung der Gattung konnte zum Teil abgekürzt werden, da schon zahlreiche Veröffentlichungen darüber vorliegen. Aus praktischen Gründen bringen wir in der Gattungsdiagnose nur die Merkmale der eisenspeichernden Arten, unter Außerachtlassung der in der Mundhöhle des Menschen vorkommenden beiden anderen Arten.

Gattungsdiagnose: stäbchenförmige Zellen, die miteinander zu verschieden langen Fäden verbunden sind. Sie sind von einer gemeinsamen, stets dünn bleibenden Scheide umgeben, auf der das ausgeschiedene Eisenoxydhydrat abgelagert wird.

Die Zellen sind meist etwa doppelt so lang wie breit, sie können aber auch zu vielen miteinander verschmelzen und bilden dann „Riesenzellen", die ihre Scheiden kontinuierlich erfüllen. Zellfäden beweglich, sie verlassen bei fortschreitender Eisenauflagerung ihre Scheide. Vermehrung durch Zoosporen (Schwärmer) oder durch unbewegliche Konidien, die sich durch Querteilung der Einzelzellen sowie durch Abschnürung von den Riesenzellen bilden. Fakultativ autotrophe, mixotrophe und wahrscheinlich auch heterotrophe Arten. Psychrophile bis thermophile Lebensweise. Allgemein verbreitet.

Leptothrix discophora (Schwers) Dorff.

Synonym: *Megalothrix discophora* Schw., *L. crassa* Chol., *Chlamydothrix discophora* (Schw.) Naum.

Länge des Zellfadens bis 500 μ. Zellen etwa 1 μ breit, 2—5 μ lang, bei Auftreten von Riesenzellen erheblich länger.

Vermehrung durch Schwärmer und unbewegliche Konidien, die durch Zellteilung entstehen und zu neuen Fäden auswachsen. Von *Leptothrix ochracea* charakteristisch unterschieden durch die bis 10 μ (und darüber) dicke Scheidenauflagerung, deren Durchmesser bei festsitzenden Formen gegen das eine Ende hin, bei freischwimmenden gegen beide, erheblich abnimmt. Bei den erstgenannten entsteht hierdurch der Gegensatz zwischen einer breiteren Basis und einer schmaleren Spitze.

Reichlich verzweigt, Vorwiegen sessiler Formen, die am Wasserspiegel oder an submersen Gegenständen festgeheftet sind; seltener freischwimmende Fäden. Optimaltemperatur 20—25° C (nach Molisch). Lebensweise mixotroph, was auch schon aus der im Verhältnis zur Zellmasse geringen Eisenabscheidung hervorgeht. (Abb. 24.)

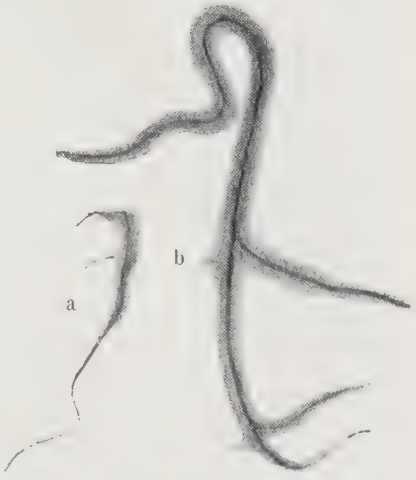

Abb. 24. *Leptothrix discophora* (Schw.) Dorff. a festsitzender Faden, Haftscheibe am dicken Ende; b freischwimmender Faden. Vergr. 1000; nach Cholodny.

In Gebieten mit Humuswässern weit verbreitet und häufig, falls genügend organische Nährstoffe zur Verfügung stehen (z. B. in Kleinsümpfen); in Brandenburg nur selten beobachtet. *L. discophora* besiedelt besonders gern einige Fadenalgen (z. B. *Tribonema*). Sie wurde früher oft mit *L. ochracea* zusammengeworfen, wodurch die weit voneinander abweichenden Ergebnisse, besonders in bezug auf die Klärung der Frage nach dem Wert des Eisenstoffwechsels, verständlich werden.

L. discophora wurde schon 1912 von Schwers an vielen Standorten in Schlammabsätzen gefunden und unter dem Namen *Megalothrix discophora* beschrieben[1]). Trotzdem Cholodny, der diese Art eingehender bearbeitete, die Untersuchung von Schwers kannte, und auch Angaben darüber macht, hielt er es für nötig, eine neue Spezies unter dem Namen *L. crassa* aufzustellen. Demgegenüber muß Schwers in diesem Falle eindeutig die Priorität zuerkannt werden.

1) Der gleiche Organismus wurde bereits 1902 von Boyce (5) aus Anlaß einer Untersuchung der Wasserkalamität in Liverpool aufgefunden und vorzüglich mikrophotographisch-farbig abgebildet, aber nicht benannt.

Leptothrix ochracea Kützing, Gemeine Ockerbakterie.

(Synonym: *Chlamydothrix ochracea* Migula.)

In Zellgröße und Lagerung der vorigen Art sehr ähnlich, aber stets unverzweigt.

Durchmesser der zylindrischen Scheiden, in deren Lumen die Zellfäden liegen, 2—3 μ. Scheide nach außen scharf konturiert, meist nur in Bruchstücken zu beobachten, da sehr spröde. Eigentliche Länge bis 1 cm und darüber. Stark lichtbrechend, Struktur homogen; durchsichtig. In der ganzen Länge stets gleich breit. Im Jugendzustand sehr dünn, fast farblos, später durch Eisenauflagerung verdickt, von brauner bis gelbbrauner Farbe. In Salzsäure ohne Rest löslich (Abb. 25.

Abb. 25. *Leptothrix ochracea* Kütz. Vergr. 1000; nach Färbung mit Gentianaviolett. Nach Cholodny.

Nur freischwimmende Formen, nie festgeheftet. Optimaltemperatur in weiten Grenzen schwankend (eurytherm, Mittelwert um 15° C). Fakultativ autotrophe bis mixotrophe Lebensweise.

L. ochracea ist die am weitesten verbreitete Eisenbakterie in den oberflächlichen Ockerbildungen. Ihre lebenden Fäden bilden lockere, flockig-wolkige Massen in strömungsschwachen Stellen eisenhaltiger Fließe, in Wiesengräben und in stehenden Gewässern; außerdem häufig in Wasserwerks-Enteisenungsanlagen[1]). Da der Zellfaden dauernd vorwärts kriecht und dabei Eisen abscheidet, bilden sich lange röhrenförmige Scheiden aus, die nur an einem Ende einige Zellen enthalten oder auch bereits ganz von diesen verlassen worden sind. Man findet daher selbst in frischen Niederschlägen stets sehr viele leere Scheiden und nur wenige Zellfäden, während in alten Ockerabsätzen in der Regel überhaupt keine Zellen mehr angetroffen werden.

Leptothrix epiphytica (Hier.) Dorff.

(Synonym: *Lyngbya epiphytica* Hier.), *Leptothrix volubilis* Chol., *Chlamydothrix epiphytica* [Hier.] Naum.

Zellen zu langen Fäden gereiht, ohne Scheide konstant 1 μ breit, 2 μ lang. Mit Scheide etwa 3 μ breit. Die Scheiden sind nicht gleichmäßig, sondern körnig mit Eisen imprägniert, undurchsichtig und zeichnen sich nach Cholodny „durch grelle ockergelbe Farbe aus". Leere Scheiden sind selten anzutreffen. Sie lösen sich nicht restlos in Salzsäure und färben sich bei Anwendung der Berlinerblau-Probe hellblau.

Stets unverzweigt, umwickeln sie in regelmäßigen, mehr oder weniger steilen Windungen einzelne Algenfäden (*Tolypothrix*, *Oedogonium* u. a.). Wegen

1) Nähere Angaben über Ökologie u. ä. bei Dorff (15).

der im Verhältnis zur Plasmamasse recht geringen Eisenspeicherung wahrscheinlich zu den Heterotrophen zu stellen; nähere ökologische Angaben über Vorkommen usw. liegen aber nicht vor. Der Organismus scheint eine Übergangsform zwischen den Bakterien und Blaualgen vom Typus der *Oscillatorien* darzustellen, ist aber gänzlich pigmentlos. (Abb. 26.)

L. epiphytica ist seit längerer Zeit bekannt und wurde von Hieronymus unter dem Namen *Lyngbya epiphytica* zu den *Cyanophyceen* gestellt, mit denen sie bis auf den Pigmentmangel auch große Ähnlichkeit hat.

Cholodny hat nun auch in diesem Falle bei der Umstellung in die Gattung *Leptothrix* einen neuen Speziesnamen verwendet, der ebenfalls aus nomenklatorischen Gründen gestrichen werden muß.

Leptothrix lopholea n. sp.

Im August 1930 im Aufwuchs eines Quelloches bei Zielenzig (Neumark) neben *Leptothrix ochracea* und anderen Eisenbakterien aufgefunden. Da es sich aber nur um einen zahlenmäßig geringen Bestand handelte, dessen Anreicherung in Kultur nicht gelang, konnte zunächst noch keine systematische Eingliederung vorgenommen werden. Im Herbst 1931 trat dieselbe Form dann reichlich in den frischen Absatz einer Rohwasserprobe aus einem märkischen Wasserwerk auf, was eine genauere Überprüfung und Ergänzung der vorher gewonnenen Ergebnisse ermöglichte. Es wurde festgestellt, daß das Gebilde aus zahlreichen Zellfäden besteht, die in ihrer ganzen Länge von dicken, eiseninkrustierten Scheiden umgeben sind. Die einzelnen Fäden verschmälern sich meist nach dem einen Ende zu, während sie am anderen Ende (basal) gemeinsam zu mehreren stets in einer dicken, vererzten Haftscheibe münden. Die einzelnen Fäden erreichen keine bedeutende Länge, sie überschreiten selten 30 μ, ihre Dicke beträgt einschließlich der Scheide etwa 1,5 μ; die Zellen selbst haben eine Ausdehnung von 0,5 μ Breite und 1,0 μ Länge, doch treten auch häufig „Riesenzellen" auf. In einigen Fällen gelang es, die beweglichen Zellfäden zu beobachten, als sie aus ihrer Scheide ausschlüpften; sie waren mit Jodjodkali gut färbbar. Die Scheiden sind hellgelb gefärbt und undurchsichtig, die Zellfäden bzw. bei leeren Scheiden die Lumina sind demnach auch erst bei vorsichtiger Auslösung des Eisens durch verdünnte Salzsäure zu bemerken. Die alten, von Zellfäden verlassenen Scheiden vererzen postvital noch ausgiebig, wobei sie

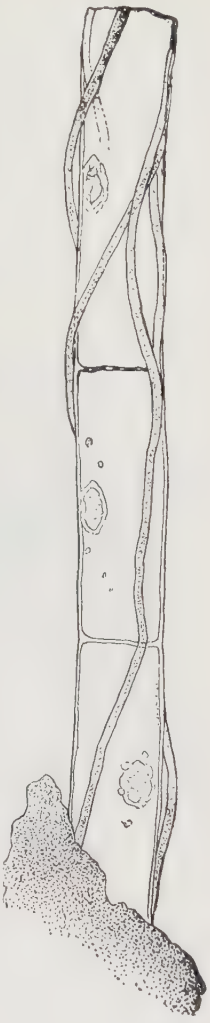

Abb. 26. *Leptothrix epiphytica* (Hier.) Dorff, einen Algenfaden umwindend. Vergr. 600; nach Cholodny.

sich so verändern können, daß ihre ursprüngliche Form kaum noch erkennbar ist.

Die Scheiden lösen sich restlos in Salzsäure und zeigen bei Zusatz von Ferrocyankali die übliche Eisenreaktion. Die Fäden sind unverzweigt, mit der Haftscheibe submers festgeheftet, unter natürlichen Verhältnissen wahrscheinlich auch im Neuston anzutreffen. Die Menge des abgelagerten Eisens im Verhältnis zur Zellmasse ist zwar relativ groß, trotzdem dürfte der Organismus nur dem mixotrophen Typus angehören, da im Wasser der Fundorte nicht unbedeutende Mengen organischer Stoffe nachgewiesen wurden (Permanganatverbrauch 20 bzw. 17 mg/l). (Abb. 27.)

Aus der vorstehenden Beschreibung geht hervor, daß es sich zweifellos um eine Bakterie des *Leptothrix*-Typus handelt. Es ist jedoch nicht möglich, sie in eine der bestehenden Arten einzugliedern; am ehesten wäre dieses noch bei *L. sideropous* möglich. Doch die Mehrzahl der an einer Haftscheibe befindlichen Einzelfäden sowie die geringere Fadenlänge und der Inkrustationstypus sind so charakteristisch, daß es erforderlich erscheint, eine neue Art aufzustellen, die ich *Leptothrix lopholea*[1]) n. sp. nenne. Die Diagnose lautet: Länge der Zellfäden durchschnittlich 20—30 μ, Größe der Einzelzellen 0,5×1 bis 1,3 μ; Riesenzellen vorhanden. Zellfäden unverzweigt, in den Scheiden beweglich, normal färbbar. 5—13 Zellfäden münden basal in eine breite Haftscheibe (Durchmesser etwa 5 μ). Scheide in der ganzen Länge durch intensive Eiseneinlagerung gelb gefärbt, undurchsichtig, durch HCl restlos löslich. Inkrustation in den älteren Scheidenteilen oft stärker, wodurch eine Verschmälerung des Fadens (einschließlich der Scheide gerechnet) nach der Spitze zu auftritt. Mit der Haftscheibe submers aufwachsend, wahrscheinlich auch im Neuston zu treffen. Dem mixotrophen Typus nahestehend; Art der Vermehrung unbekannt.

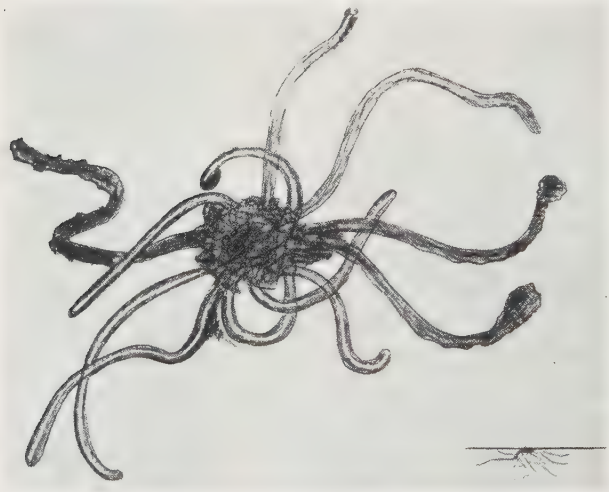

Abb. 27. *Leptothrix lopholea* n. sp. Oben: Vergr. ca. 900; unten rechts: ca. 135. Orig.

Aufgefunden im Aufwuchs einer Probe aus Zielenzig (Neumark) und im Absatz einer Rohwasserprobe des Dahme-Wasserwerkes (Prov. Brandenburg).

1) λοφόλεος = büschelig.

Leptothrix major n. sp.

An den Eisenniederschlägen bestimmter Bodenstrecken der Spree bei Berlin sind in großem Ausmaß fädige Bakterien eines bestimmten Typus beteiligt. Sie fanden sich regelmäßig in den Grundproben, die zu verschiedenen Jahreszeiten entnommen wurden, und ließen sich in Kulturen leicht anreichern.

Der Untergrund der Untersuchungsstrecke, die sich etwa 4 km zwischen Berlin-Köpenick und der Einmündung der Wuhle erstreckt, besteht aus feinkörnigem Sand, der besonders kurz unterhalb von Köpenick zuweilen eine bedeutende Auflagerung von *Dreissensia*-Muscheln bzw. deren leeren Schalen, zeigt. Das Wasser reagiert konstant schwach alkalisch (pH 7,3—7,5), der Gehalt an organischen Substanzen ist recht hoch (Permanganatverbrauch 32—34). (Lit. vgl. Nr. 15, 16).

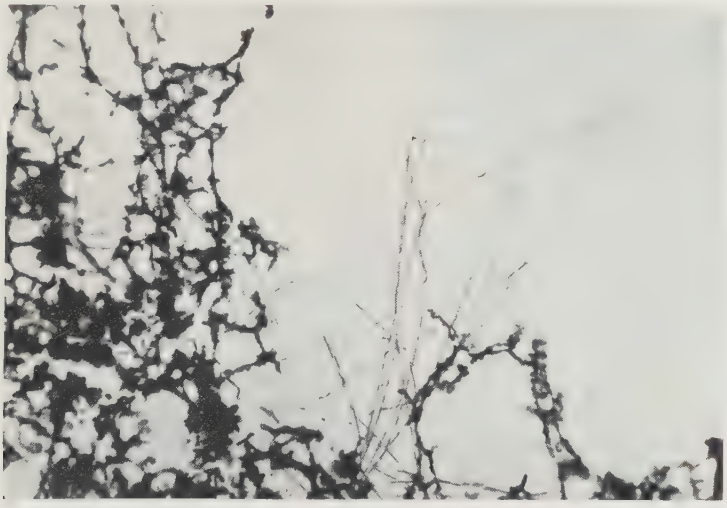

Abb. 28. *Leptothrix major* n. sp. nach Färbung mit Methylenblau. Vergr. ca. 220. Die Unterschiede in der Zellänge sind deutlich bemerkbar. Orig.

Am Grunde des Wassers, das keine bedeutende Strömung hat, trifft man zahlreiche feste Eisenkonkretionen, die in ihrem Habitus den Seerzen vom Erbsen- bis Gelderztypus gleichen. Ihre Existenz wurde schon früher von Kolkwitz (28) und Naumann (46) festgestellt. Außerdem fanden sich in dieser Bodenregion Eisenoxydüberzüge an den verschiedensten submersen Gegenständen, wie Muschelschalen, Tonscherben usw. Diese Niederschläge bestanden regelmäßig und fast ausschließlich aus dichten Büscheln einer farblosen, stark eisenspeichernden Fadenbakterie, deren Zellen sich durch ihre Größe und eine deutlich körnige Struktur auszeichneten. Die einzelnen Fäden können sehr lang werden (600 μ und darüber), sie sind unecht verzweigt.

Inwieweit diese fadenförmigen Bakterien auch an der Entstehung der festen Eisenkonkretionen beteiligt sind, bedarf noch der näheren Untersuchung. An der Oberfläche dieser Bildungen wurden sie jedoch in vielen Fällen fest-

gestellt. Die Fäden sind stets von einer deutlich sichtbaren Scheide umhüllt, die durch Auflagerung von Eisen verdickt, gelb gefärbt und dabei völlig undurchsichtig wird. Die vererzten Scheiden sind nach außen scharf begrenzt, besitzen aber nicht die gleichmäßige Form einer platten Röhre, wie die von *L. ochracea*, sondern sind unregelmäßiger geformt. Die Fäden sind in den Scheiden beweglich; meist ragt der größere Teil des Fadens aus dem bereits stärker vererzten dickeren Scheidenteil heraus, wie wir ähnliches auch bei *Crenothrix* treffen[1]). Aus dem Vorkommen an relativ nährstoffreichen Standorten und der im Verhältnis zur Zellmasse ausgeschiedenen geringen Eisenmenge geht hervor, daß es sich um einen mixotrophen oder sogar heterotrophen Eisenorganismus handelt. (Abb. 28.)

Auf Grund der vorstehenden Feststellungen reihe ich ihn als neue Spezies in die Gattung *Leptothrix* ein. Die Diagnose lautet: *Leptothrix major* n. sp. Länge der Zellfäden bis 600 μ und darüber. Fäden submers festgeheftet, mit unechter Verzweigung, rasenbildend. Zellen mit körniger Struktur, farblos, durchschnittlich 5 μ lang, 1,4 μ breit, in der Länge stark schwankend; häufig Riesenzellen (bis 75 μ). Zellfäden in den Scheiden beweglich, normal färbbar. Scheide im unteren Ende durch Eiseneinlagerung gelb gefärbt und undurchsichtig, in HCl nicht restlos löslich. Den mixotrophen oder heterotrophen Eisenorganismen zugehörig.

Aufgefunden in ca. 3,5 m Tiefe am Grunde der Spree bei Berlin-Köpenick.

Leptothrix pseudovacuolata (Perfiliev) Dorff.

(Synonym: *Spirothrix pseudovacuolata* Perfiliev.)

Ebenfalls submers, und zwar in der beträchtlichen Tiefe von 27—35 m im Sakrower See bei Berlin fand sich ein Eisenorganismus, der dem *Leptothrix*-Typus angehört, sich aber von den bisher bekannten Arten durch seine Wuchsform scharf unterscheidet. Der Faden windet sich nämlich in den meisten Fällen in regelmäßigen, ziemlich weiten Raumspiralen; in recht seltenen Fällen fanden sich auch ungewundene Fäden. Die Zahl der Windungen schwankt zwischen 2 und 13, die überwiegende Mehrzahl der Fäden besitzt 5—7 Windungen. Die farblosen Zellfäden liegen in einer vererzten Scheide, sind aber ohne Behandlung mit HCl leicht zu beobachten. (Abb. 29.) Die Struktur der Zellen ist ausgesprochen körnig, die Zellwände sind, falls überhaupt vorhanden, sehr dünn, häufig fehlen sie aber im Inneren des Fadens, so daß „Riesenzellen" entstehen. Die Zellen besitzen meist eine große, zentralgelegene Gasvakuole. Bei Anwendung der mikrochemischen Reaktionen zeigte sich, daß die „Körnchen" nicht aus Fe-Verbindungen bestanden. Eine körnige Struktur scheint übrigens charakteristisch für das Plasma der in größeren Tiefen lebenden Eisenorganismen zu sein, denn auch Perfiliev gibt für seine, unter ganz ähnlichen Bedingungen lebenden Gattungen *Lieskeella* und *Ochrobium* eine solche Struktur an.

1) *L. major* ähnelt *Crenothrix fusca* in gewissem Maße, unterscheidet sich aber einerseits durch die ausgesprochene Körnigkeit des Plasmas und das Fehlen scheibenförmiger Zellen, andererseits durch gleichmäßig breite Fäden, die nach den Enden zu nicht verjüngt sind.

Der Vererzungstypus der Scheiden ähnelt sehr dem von *L. discophora*, bei beiden zeigen die inneren Teile der vererzten Scheide eine größere Dichte als die äußeren, wodurch die bekannte, unscharfe Begrenzung zustandekommt. Diese Form scheint, ähnlich wie *L. epiphytica*, ebenfalls eine Art Übergangsform zu den Blaualgen (vom Typus *Spirulina*) darzustellen.

Soweit aus den von Perfiliev (56) gemachten kurzen Bemerkungen über eine von ihm neu aufgestellte Gattung *Spirothrix* hervorgeht, handelt es sich um den gleichen Organismus. Bei meinen Messungen fanden sich allerdings in der Regel etwas größere Zellmaße, als dieser Verfasser für *Sp. pseudovacuolata* angibt. Die Aufstellung einer neuen Gattung erscheint mir jedoch nicht statthaft, da die wesentlichen Merkmale mit denen der Gattung *Leptothrix* übereinstimmen. Das Vorkommen von Vakuolen kann nicht als Gattungsunterschied betrachtet werden, da z. B. die Gattung *Gallionella* auch zwei Arten ohne solche Vakuolen und eine mit deutlichen Vakuolen (*G. major*) besitzt.

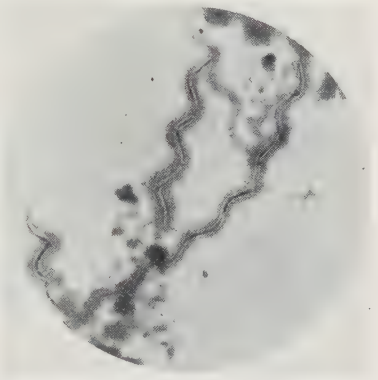

Abb. 29. *Leptothrix pseudovacuolata* (Perf.) Dorff, mit deutlichen Gasvakuolen (dunkel erscheinend). Vergr. 670. Orig.

Wir geben im folgenden eine Kurzdiagnose, die alle wesentlichen Merkmale noch einmal zusammenfaßt: Länge der Zellfäden 85—250 μ; unverzweigt, durch Verkleben der Fadenenden oft Verzweigung vortäuschend. Fäden in einer Raumspirale gewunden, selten gerade gestreckt, allseits von einer durch starke Eisenauflagerung gelb gefärbten, nach außen unscharf begrenzten Scheide umgeben. Die Länge einer ganzen Spirale beträgt im Durchschnitt 20—24 μ. Zellen an den Enden abgerundet, mit sehr dünnen Wänden; Struktur körnig. Durch Verschmelzen mehrerer Zellen entstehen häufig „Riesenzellen". Die Breite der Zellen beträgt 1,7—2,8 μ, die Länge schwankt von 3,5—30 μ und darüber. Die Scheide ist in ihrer ganzen Länge von Eisen inkrustiert und mißt im Durchmesser 7—9 μ. Wahrscheinlich heterotrophe Lebensweise, da in nährstoffreichem Schlamm mit sehr geringer Sauerstoffspannung aufgefunden. Fundorte: 1. Alt-Peterhof b. Leningrad, obere Schlammzone; 2. Tiefenrinnen des Sakrower Sees b. Potsdam in 27—35 m unter dem Wasserspiegel (Station 9); obere Schlammzone.

Der Grund der tieferen Partien des Sakrower Sees ist von schwarzem Faulschlamm bedeckt. Die Sauerstoffspannung beträgt an diesen Stellen von Mai bis November 0—0,5 ccm/l, steigt dann aber während des Winters erheblich an. Die besten Proben[1]) wurden im Herbst 1931 gewonnen, also bei O_2-Minimum. *L. pseudovacuolata* bildete zu dieser Zeit eine Schlammblüte (mehr als 2000 Exemplare/ccm).

1) Die Proben wurden mir durch die freundliche Vermittlung von Fräulein cand. phil. A. Busse, die an der dortigen Limnologischen Versuchsstation des Instituts für Meereskunde

Leptothrix sideropous (Molisch) Chol.[1])

(Synonym: *Chlamydothrix sideropous* Molisch).

Die Länge der Zellfäden beträgt bis 600 μ und darüber; die Größe der Einzelzellen 2—5 μ×0,6 μ. Scheide sehr dünn und durchsichtig, nur in den basalen Teilen eisenspeichernd; an diesem Ende wird eine breite Haftscheibe ausgebildet (Durchmesser 6—30 μ). Diese vererzt ausgiebig und nimmt dabei eine tiefbraune Färbung an. Bei Anwendung der Berlinerblauprobe färbt sich außer der Haftscheibe nur der dieser am nächsten gelegene Fadenteil, während die Spitze des Fadens ungefärbt bleibt, offenbar also eisenfrei ist. (Abb. 30.)

Unverzweigt, mit der Basis meist an der Wasseroberfläche angeheftet, dann also zum Neuston gehörig, oder an der Oberfläche verschiedener Wasserpflanzen als Aufwuchs. Die Fäden hängen meist senkrecht ins Wasser; sie können bei Anfertigung eines Klatschpräparates leicht im hängenden Tropfen beobachtet werden. Heterotrophe Lebensweise, da verhältnismäßig geringe Eisenspeicherung und Vorkommen in nährstoffreichem Wasser. Im Neuston der meisten Eisenwässer vom Meso- bis Polytypus vorhanden. Besonders zahlreich in Humusgewässern, aber nur bei Vorhandensein von leicht verwertbaren organischen Stoffen (Kleinsümpfe).

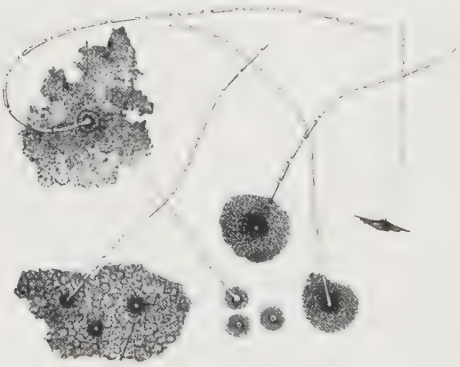

Abb. 30. *Leptothrix sideropous* (Mol.) Chol. Vergr. ca. 1000; nach Molisch.

L. sideropous wurde von Molisch 1910 im Neuston einer Rohkultur mit Moldauwasser festgestellt (40). Der Organismus zeigt gute Färbbarkeit.

Leptothrix thermalis (Molisch) Dorff

(Synonym: *Chlamydothrix thermalis* Molisch).

Bisher nur von Molisch in verschiedenen Thermen in Japan, zum Teil mit Wassertemperaturen bis 69° C, beobachtet. Die kurze Diagnose lautet: „Feine, unverzweigte Fäden von 0,4—0,5 μ Dicke. Scheide und Zellen kaum erkennbar. Scheiden können Eisenoxyd speichern und nehmen dann eine bräunliche Farbe an. Dichte Häute und Bündel bildend." Ein ähnlicher Thermalorganismus wurde auch von Miyoshi (38) beobachtet, jedoch zu *L. ochracea* gerechnet.

an der Universität Berlin arbeitet, zugängig gemacht, wofür ich ihr auch an dieser Stelle meinen besten Dank aussprechen möchte.

1) Cholodny gibt an, daß Molisch diesen Organismus unter der Benennung *Leptothrix sideropous* beschrieben habe. In Wirklichkeit nennt ihn Molisch aber *Chlamydothrix s.*, er wurde also von Cholodny erst umbenannt, allerdings ohne daß dieser es erwähnt; ihm kommt daher die Namensangabe zu.

Leptothrix trichogenes Cholodny.

(Synonym: *Toxothrix ferruginea* Molisch, *Cryptothrix* Perfiliev.)

Länge des Fadens 300—400 μ; Zellen erheblich schmaler als bei *L. ochracea* und *crassa*, Breite ca. 0,5 μ, Länge wechselnd, häufig „Riesenzellen". Die Zellfäden sind beweglich, mit der Wölbung nach vorn kriechend, wobei ein U-förmiger Bogen entsteht (Abb. 31).

Die Art der Vermehrung ist im einzelnen noch unbekannt. Von Meeham und Baas-Becking (35) wurden Keime (Dauersporen) von *L. trichogenes* in der Luft nachgewiesen.

Die eigentümlichen helmartigen Bildungen, die sehr kennzeichnend sind (s. Abb. 31 2, 3), kommen zustande, wenn der Faden die sekundäre Scheide verläßt, wobei die nächstgelegenen Primärscheiden mitgezogen werden und ihrerseits ein Verschieben der ihnen benachbarten Härchen bewirken. Die Primärscheiden liegen entweder in dichten Bündeln aneinander, meist werden sie aber helmförmig auseinandergezogen. Die Scheiden lösen sich restlos in Salzsäure.

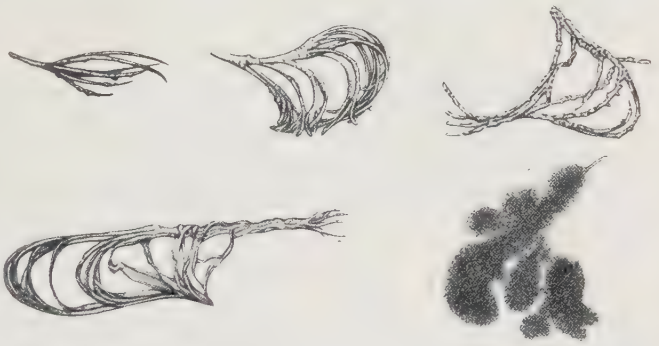

Abb. 31. *Leptothrix trichogenes* Chol. Vergr. 600; nach Molisch.

Fakultativ autotrophe oder mixotrophe Lebensweise, es werden im Verhältnis zur Zellsubstanz sehr erhebliche Mengen Eisen abgeschieden. Dem entspricht das Vorkommen dieses Organismus, den ich wiederholt in nährstoffarmen Absitzbecken vieler Wasserwerke (z. B. Krefeld, Berlin-Friedrichshagen, -Lichtenberg, -Tegel) fand, als auch die Angaben über das Vorkommen — zusammen mit *Gallionella* — bei Kiew in Waldquellen und Brunnen sowie in verschiedenen Eisenquellen des Kaukasus [Cholodny (10, 11)] und im Teiß-Altwasser sowie in einem kleinen Bach bei Szeged [Pakh (53, 54)]. In der freien Natur konnte ich ihn bisher nirgends auffinden, sondern nur in Wasserwerken. Die Optimaltemperatur beträgt nach Pakh ca. 12° C. *L. trichogenes* wurde erst 1924 von Cholodny in den bezeichneten Örtlichkeiten bei Kiew entdeckt. Inzwischen hat sich herausgestellt, daß dieses Bakterium weit verbreitet ist; es wurde zahlreich in Ungarn und an den verschiedensten Orten in Deutschland aufgefunden und beschrieben (Pakh, Baier, Verf.). Die von Cholodny aufgestellten Theorien über den Mechanismus der Häutung und über andere Fragen dürften zutreffend sein und konnten daher zum Teil oben ohne Kommentar dargestellt werden.

Crenothrix Cohn.

(Synonym: *Clonothrix* Schorler.)

Zellfäden von verschiedener Länge, festsitzend; Fäden zylindrisch, in bestimmten Fällen gegen die Spitze zu verdickt oder verschmälert. Zellen normalerweise stäbchenförmig, Längen- und Breitenausdehnung in weiten Grenzen schwankend. Scheide stets vorhanden, anfangs farblos und dünn, später durch die basal beginnende Eisenauflagerung verdickt und undurchsichtig, gelb bis dunkelbraun gefärbt. Speicherung von Eisen und von Mangan.

Vermehrung durch aus der Scheide austretende Einzelzellen oder Fadenteile sowie — in der Regel — durch unbewegliche Makro- und Mikrokonidien, die im Spitzenteil des Fadens gebildet werden; dieser verbreitert sich bei Ausbildung von Mikrokonidien keulenförmig. Die konidienbildenden Zellen spalten dabei in die drei Richtungen des Raumes auf. Mixotrophe Lebensweise. In der freien Natur selten, sehr häufig in den Enteisenungsanlagen vieler Wasserwerke. Drei Arten.

Crenothrix polyspora Cohn. Brunnenfaden.

Länge der Fäden schwankend, bis 3 mm und darüber. Zellen zylindrisch, im Verhältnis zu den übrigen fädigen Eisenbakterien groß; ihre Länge ist sehr verschieden, es treten sowohl flache, scheibenförmige, wie langstäbchenförmige Zellen auf. Typische „Riesenzellen", die einen größeren Teil des Fadens erfüllen, wurden nicht beobachtet. Die Zellbreite schwankt zwischen 2 und 5 μ (ohne Scheide). Vermehrung erfolgt durch unbewegliche Makro- und Mikrokonidien, die im oberen Fadenteil durch Zellzerfall gebildet werden. Die Makrokonidien haben einen Durchmesser von etwa 5 μ, die Mikrokonidien von 1—2 μ. Beide setzen sich bald nach ihrem Freiwerden fest und wachsen zu morphologisch gleichen *Crenothrix*-Fäden aus. Die Scheide ist an der Spitze stets dünn und farblos, so daß die Zellen an diesem Ende gut zu beobachten sind. Am basalen Fadenende ist sie dick, unregelmäßig klumpig mit Eisen bzw. Mangan inkrustiert und völlig undurchsichtig; sie ist in verdünnter Salzsäure nicht restlos löslich.

Abb. 32. *Crenothrix polyspora* Cohn. a—d verschiedene Fadentypen. Vergr. ca. 1500; e Kolonietyp. Vergr. ca. 50. Orig.

Vorwiegend unverzweigte Formen; in seltenen Fällen auch falsche Verzweigung beobachtet. Aufenthaltsorte und die Menge des ausgefällten Eisens

deuten auf mixotrophe Lebensweise. Damit steht in Übereinstimmung, daß eine Massenentwicklung regelmäßig nach Zufuhr organischer Stoffe eintritt [vgl. Dorff (15) Tab. 5]. Ihre Temperaturansprüche sind noch nicht näher untersucht, sie scheint in einer breiten Temperaturspanne lebensfähig zu sein (Abb. 32).

Der Brunnenfaden ist eine der am häufigsten untersuchten Eisenbakterien. Er hatte sich seit der Anlage der ersten größeren Wasserwerke dadurch eine zweifelhafte Berühmtheit errungen, daß er, meist zusammen mit anderen Eisenbakterien, unter bestimmten Bedingungen plötzlich Massenvegetationen bildete, die das Trink- und Brauchwasser verschmutzten und sogar in einzelnen Fällen die Wasserzuleitung durch völlige Verstopfung der Röhren verhinderten. Solche „Wasserkalamitäten" traten, besonders zu Anfang dieses Jahrhunderts, in vielen Städten überall auf der Erde auf (vgl. Lit. 15).

Crenothrix fusca (Schorler) Dorff.

(Synonym: *Clonothrix fusca* Schorler.)

„Fäden dichotom oder unregelmäßig verzweigt, festsitzend, mit Gegensatz von Basis und Spitze, nach den freien Enden allmählich dünner werdend." An der Basis 5—7 μ dick, bei alten Fäden auch mehr (einschl. Scheide), an der Spitze etwa 1—2 μ dick; ausgewachsene Zellen etwa 2 μ dick, durchschnittlich 6—8 μ lang, auch länger (bis 20 μ). Vermehrung erfolgt regelmäßig durch kleine, kugelige Konidien (Durchmesser etwa 2 μ), die den Makrokonidien von *Cr. polyspora* entsprechen, oder durch aus der Scheide ausschlüpfende Einzelzellen oder Fadenteile, die zu neuen Fäden auswachsen. Inkrustationstypus der Scheide wie bei *Cr. polyspora*, auch hier kann Fe durch Mn ersetzt werden. In Dunkelräumen von Wasserleitungen beobachtet, wo sie wie die vorher genannte Art dichte flockige Rasen bildet. Außerdem im Rohrsystem einiger Talsperren sowie in Brunnen und in der freien Natur nachgewiesen. (Abb. 33.)

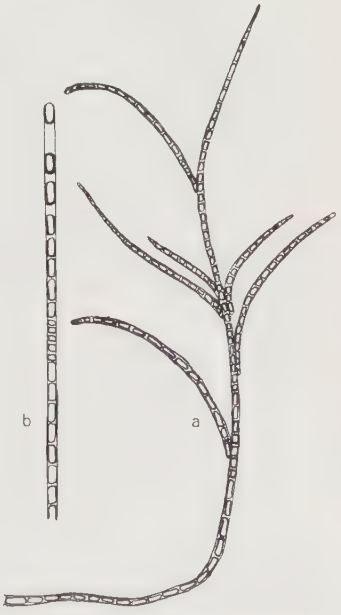

Abb. 33. *Crenothrix fusca* (Schorler) Dorff. a verzweigter Faden. Vergr. ca. 1000; b Fadenbruchstück mit verschieden geformten Zellen. Vergr. ca. 1100. Neuzeichnung nach Molisch.

Cr. fusca wurde 1904 von Schorler (61) in den Dresdner und Meißener Wasserwerken aufgefunden und als neue Gattung mit dem Namen *Clonothrix fusca* aufgestellt. In seiner Arbeit gibt Schorler an, daß die von ihm gefundene Eisenbakterie große Ähnlichkeit mit *Cr. polyspora* habe, aber sich deutlich von ihr durch die auffällige Verzweigung unterscheide. Er betrachtet diesen Unterschied als den entscheidenden Faktor für die Einreihung seines neuen

Organismus in eine eigene Gattung: in bezug auf die Ursprungsdiagnose von Cohn (13) für die Gattung *Crenothrix* sagt er: „Will man die Gattungsdiagnose von *Crenothrix* in ihrer ursprünglichen Form beibehalten, so muß man für diese Formen eine neue Gattung aufstellen." Nun hat erstens Cohn nicht ein besonderes Gewicht auf die Unverzweigtheit seiner Gattung *Crenothrix* gelegt, und zweitens ist es ganz allgemein üblich, Formen, die eine so weitgehende Ähnlichkeit miteinander wie in diesem Falle haben, in eine Gattung einzuordnen, auch wenn geringfügige Unterschiede bestehen. Es sei hier nur an die Gattung *Leptothrix* erinnert.

Cholodny geht sogar im Gegensatz zu allen anderen Autoren so weit, beide Formen unter dem Namen *Crenothrix polyspora* zu vereinigen; dies erscheint mir jedoch aus folgenden Gründen fraglich: Einmal ist der Unterschied in der Verzweigung nicht abzustreiten. Der normale *Cr. polyspora*-Faden ist von fast allen Autoren als unverzweigt angegeben, allein Harder (23) bildet verzweigte Formen ab, und Kolkwitz erwähnt (28), einmal einen solchen Faden gefunden zu haben. Auch bei meinen Untersuchungen war bei *Cr. fusca* die Verzweigung in allen Fällen mit großer Regelmäßigkeit festzustellen, bei *Cr. polyspora* jedoch nie. Man darf nun wohl kaum annehmen, daß es sich bei den Beobachtungen von Schorler um Einzelfälle gehandelt hat, denn dieser Autor beschreibt ja große Rasen von *Cr. fusca*. Der wichtigste Grund zur Trennung der Arten aber ist die Tatsache, daß bei *Cr. fusca* nie die Bildung von Mikrokonidien in keulenartigen Erweiterungen des oberen Fadenteils beobachtet wurde, wie sie bei *Cr. polyspora* hinlänglich bekannt sind.

Während sich die bisherigen Autoren überwiegend mit der kommentarlosen Wiedergabe der Schorlerschen Bezeichnung *Clonothrix* begnügen, sehe ich mich auf Grund der vorgelegten Tatsachen genötigt, den Gattungsnamen *Clonothrix* zu streichen und den Organismus als eigene Art zur Gattung *Crenothrix* zu stellen.

Roze (59) beschrieb schon 1896 unter dem gleichen Namen einen Fespeichernden Organismus, der dem Schorlerschen sehr ähnlich ist, aber eine deutliche Zellfärbung zeigte. Mit Cholodny rechne ich ihn daher zu den *Cyanophyceen*, ohne jedoch eine endgültige Entscheidung über die Priorität treffen zu können.

Crenothrix tenuis (Kolkw.) Dorff.

(Synonym: *Clonothrix tenuis* Kolkw., *Glaucothrix putealis* Kirchn(?).)

Von Kolkwitz im Neuston einer belüfteten Abwasserprobe aus der biologischen Kläranlage in Stahnsdorf b. Berlin aufgefunden (28). „Faden an den älteren Teilen mit Scheide 3—4 μ dick, nach oben sich verschmälernd." Reichlich verzweigt, bis auf den Größenunterschied „ganz ähnlich *Crenothrix fusca*". Möglicherweise handelt es sich um eine Wuchsform von *Crenothrix fusca*, da die Unterschiede sehr gering sind. Eigene Beobachtungen liegen nicht vor.

Cladothrix Cohn.

Von Cohn wurde unter dem Namen *Cl. dichotoma* eine feinfädige Bakterie beschrieben, die in verschmutzten Gewässern auftritt. Eine Eisenspeicherung stellte dieser Forscher nicht fest. Später wurden unter dem gleichen Namen die verschiedensten Formen in die Wissenschaft eingeführt, deren Diagnose in jeder Beziehung — mit Ausnahme der Feststellung der Fädigkeit — von der ursprünglichen abwich. Die heterogensten Merkmale wurden festgestellt, und es unterliegt gar keinem Zweifel, daß hier aus Unkenntnis eine ganze Anzahl verschiedener Arten oder sogar Gattungen zusammengeworfen wurden. Von einigen Autoren wird *Cl. dichotoma* nicht als eigene Art betrachtet, sondern mit *Sphaerotilus natans* vereinigt. Vgl. E. Naumann, Ber. Dt. Bot. Ges. 1932, 1933.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß die ursprüngliche Form keine Eisenspeicherung zeigte, der Begriff aber später in unzulässiger Weise so erweitert wurde, daß er heute als eine Art Sammelstelle für unbekannte Arten betrachtet werden muß und in keiner Weise eindeutig zu fassen ist. Mit Cholodny kann ich *Cl. dichotoma* daher nicht zu den Eisenbakterien rechnen. Dagegen muß hier eine von Naumann beschriebene Art erwähnt werden, trotzdem auch deren Zugehörigkeit zur Gattung *Cladothrix* auf Grund der spärlichen Angaben angezweifelt werden kann.

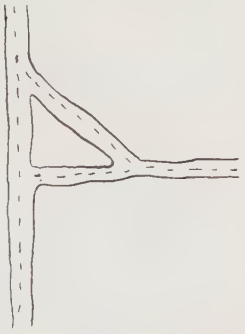

Abb. 34. *Cladothrix reticularis* Naum. (schematisch); nach Naumann.

Cladothrix reticularis Naum.

Die Diagnose lautet: „*Cellulae in colonias reticulares lineae modo regulariter dispositae. Area mucosa ferruginea. Longitudo cellularum* 2,5 μ. Diese Form ist durch ihre retikulate Wuchsform sehr leicht erkenntlich. Die Vererzung ist hier . . . minder ausgiebig. . . . Diese Formen spielen indessen eine gewisse Rolle beim Entstehen von den anscheinend ganz „amorphen" Rostflecken." (Abb. 34.)

Aufgefunden im Teichgebiet Aneboda. Eigene Beobachtungen liegen nicht vor.

3. Aktinomyceten. Strahlenpilze.

Actinomyces Harz.

Bisher ist eine Eisenspeicherung von zwei Arten bekannt und wurde von Nadson (42) und Naumann (43) beschrieben. Die Gattungsdiagnose kann als bekannt vorausgesetzt werden und soll daher hier nicht wiederholt werden.

Actinomyces verrucosus Nadson.

Nadson fand diesen Organismus 1903 bei seinen Schlammuntersuchungen des Weissowo-Sees, beschreibt aber nur die Auflagerung von Eisenoxydhydrat auf den Fäden, ohne die Möglichkeit zu erwähnen, daß diese Erscheinung mit den Lebensvorgängen der lebenden Zellen in Zusammenhang

stehen könne. Aus der seiner Arbeit beigegebenen farbigen Abbildung geht aber hervor, daß es sich offenbar um einen Eisenorganismus — mit Membranvererzung — handelt.

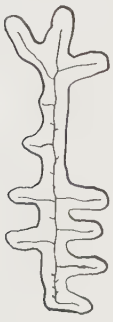

Abb. 35. *Actinomyces ferrugineus* Naum.; nach Naumann.

Actinomyces ferrugineus Naum.

Der Organismus wurde von Naumann im Teichgebiet Aneboda aufgefunden und ist laut Angabe morphologisch sehr leicht erkennbar. Er gehört zu den „Rostfleckenbildnern", tritt aber im Verhältnis zu den anderen Fleckbildnern relativ selten auf. Nähere Einzelheiten sind noch nicht bekannt. Die kurze Diagnose Naumanns lautet: „*Cellulae mucorum modo associatae sed termini cellularum invisibiles. Area mucosa ferruginea.*" (Abb. 35.) Eigene Beobachtungen liegen nicht vor.

Bestimmungstabelle.

A. Zellen einzeln oder in Verbänden, verzweigt oder unverzweigt.

I. Zellen einzeln oder in Kolonien, ohne Scheiden, niemals fadenförmig Haplobakterien (Einzeller).

II. Zellen zu Fäden angeordnet, meist mit Scheide, verzweigt oder unverzweigt . . . . . Trichobakterien (Zellfäden).

B. Zellen vom Hyphentypus, stets ohne Querwände. Verzweigt Aktinomyceten (Strahlenpilze).

I. Haplobakterien (Einzeller).

a) Zellen rundlich-kokkenartig . . . . . ***Coccaceae***

b) Zellen stäbchenförmig . . . . . ***Bacteriaceae***

c) Zellen schraubenförmig gekrümmt . . . . . ***Spirillaceae***

Ia) *Coccaceae*

α) Zellen von einer eisenspeichernden Gallerte umgeben ***Siderocapsa***

Mehrere Zellen in einer Gallerte:

1. Sectio *Polysiderocapsa.*

Artendiagnose.

Art	Vorkommen	Zelldurchmesser	Typus
S. coronata Red. . .	im Plankton	ca. 1 μ	mixotroph?
S. major Mol.	im Neuston und auf Blättern von Wasserpflanzen	0,7—1,8 μ	heterotroph
S. Treubii Mol. . . .	auf Blättern von Wasserpflanzen	0,4—0,6 μ	heterotroph

Eine Zelle in jeder Gallerte:

2. Sectio *Monosiderocapsa.*

Im eisenhaltigen Bodenschlamm und als Aufwuchs. Durchmesser 0,5—0,75 μ . . . . . *S. monoica* Naum.

β) Zellen ohne Gallerte; Eisenfällung frei außerhalb der Zellen ***Sideococcus***

Eisenfällung aus anorganischen Eisensalzen (Ferrokarbonat). Zelldurchmesser 0,2—0,5 μ. Fakultativ autotroph. See- und Sumpferzbildner . . . . . *S. limoniticus* Dorff.

Eisenfällung aus organischen Eisensalzen (Eisenammonzitrat). Zelldurchmesser 0,3—1 μ. Heterotroph . . . *S. communis* Dorff.

Ib) *Bacteriaceae.*

1. Formen mit beweglichen Stadien.
   α) Zuzeiten begeißelte Stadien.
   Zellen kurz-zylindrisch mit abgerundeten Ecken oder oval, 1,5—5 μ lang, 0,5—3 μ breit. Geißeln ungleich lang, paarig in einer Einbuchtung am hinteren Teil befestigt. Unbegeißelte Stadien meist mit den Hinterenden zu Kolonien verklebt. Eisenspeicherung in einem „Gallertfutteral". Planktisch in bodennahen Wasserschichten, seltener im Bodenschlamm; dann öfter zu größeren Cönobien in einer Gallerte zusammengeschlossen
   Ochrobium *tectum* Perf.
   β) Zellen beweglich, stäbchenförmig (0,2×1,5—2 μ) mit unbeweglichen kokkoiden Stadien (0,2—0,7 μ Durchmesser); im Erdboden lebend, manganspeichernd . . . . ***Bacillus*** *manganicus* Beij.
2. Organismen ohne aktive Bewegungsfähigkeit.
   α) Zellen einzeln oder in kleinen Verbänden
   αα) mit Gallertvererzung . . . . . ***Sideroderma***
   ββ) ohne Gallertvererzung oder -ausscheidung, allseitig direkt an der Membran vererzend . . . . . ***Siderobacter***
   γγ) ohne Gallertvererzung oder -ausscheidung, membranös längs bestimmter Zellpartien in „Randwülsten" vererzend
   Naumanniella
   β) Zellen in größeren Verbänden, mit totaler Gallertvererzung
   Siderocystis

Artendiagnose.

Art	Vorkommen	Zellgröße	Typus	Bemerkungen
Sideroderma rectangulare Naum.	im Neuston	3×0,5 μ	?	mit Gallerte
duplex (Brus.) Naum.	dgl.	2,5–5×1,25 μ	heterotroph	dgl.
Siderobacter calceum (Brus.) Naum.	im Neuston	5 - 7,5×0,7 μ	heterotroph	≺ fraglich, ob zu den E.B. gehörig
lineare Naum. . . .	dgl.	5×1,2 μ	?	
duplex Naum. . . .	dgl.	3,5×1,5 μ	?	
Naumaniella neustonica Dorff	im Neuston	1) 6×2,5 μ 2) 3,75×1,3 μ	heterotroph	1) mit vererzter Randwulst, 2) ohne diese gemessen
minor Dorff . . .	im Aufwuchs	1) 3,4×1,4 μ 2) 3,0×0,9 μ	mixotroph?	
Siderocystis confervarum (Chol.) Naum.	auf der Oberfläche versch. Fadenalgen, Psichohormien bildend	0,8 1×0,5 μ —0,6 μ	mixotroph?	—
vulgaris Naum. . .	im Aufwuchs	2,5×0,5 μ	autotroph	—
minor Naum. . . .	dgl.	1,5×0,7-1,5 μ	autotroph?	—

1c) *Spirillaceae* [1]).

Zellen (unmerklich) leicht schraubig gewunden, in der Seitenansicht meist bohnen- oder nierenförmig gekrümmt. Eisenausscheidung nur an einer Seite, Stielchen und Bänder bildend . . . ***Gallionella***[2])

Artendiagnose:

G. ferruginea Ehrb. Zellgröße 0,5—0,6 × —1,5 μ. Bau der Stielchen: dichotom verzweigte, flach-bandförmig gedrehte oder umeinander gewundene Stiele mit kreisförmigem Querschnitt, Länge von einer Zellteilung zur nächsten 100—200 μ, glatt. Autotroph; frei im Wasser vorkommend oder festsitzend, oft in kugeligen Kolonien.

G. minor Chol. Zellgröße wie die vorige Art. Stielchen: dichotom verzweigt, flach-bandförmig gedreht, Länge zwischen zwei Zellteilungen etwa 20 μ, oft von warziger Kruste bedeckt. Autotroph; frei im Wasser.

G. major Chol. Zellgröße ~ 3,5×1 μ, selten 7,5×1 μ. Stielchen: dichotom verzweigt, flach-bandförmig gedreht, basale Windungen länger als apikale. Autotroph; frei im Wasser. Besonderes Kennzeichen: Gasvakuolen (1—3).

G. corneola Dorff. 2,5—3 μ×0,6—1 μ. Stielchen: unverzweigt, ungedreht, mit rundem Querschnitt; gegen das apikale Ende füllhornartig verbreitert. Basal mit Haftscheibe versehen; 15—25 μ lang. 3—8 Stielchen in einer Haftscheibe vereinigt. Mixotroph?; submers festgeheftet.

II. Trichobakterien (Zellfäden).

1. Zellfäden ohne Scheide

a) Zellen nur in losem Zusammenhang, ohne einheitlich umgebende Gallerthülle . . . . . ***Lieskeella***

Stäbchenförmige Zellen mit abgerundeten Ecken, sich im Fadenverband spiralig umeinander verschlingend. Struktur meist weitgehend durch abgeschiedenes Eisenoxydhydrat maskiert. Zellgröße: 2×0,6 μ. In den oberen Schlammschichten von Seen . . *L. bifida* Perf.

b) Fäden unverzweigt, mit Membranvererzung; zu mehreren, oft verschlungen in eine ebenfalls stark vererzende Gallerte eingebettet ***Sideromyces***

Länge der Fäden 15—25 μ, Breite etwa 0,5 μ. Zellige Struktur fraglich. Im Neuston und im Aufwuchs . . . . . *S. glomerata* Naum.

2. Zellfäden mit Scheide

a) Die Zellen teilen sich in zwei Richtungen des Raumes.

α) Zellfäden kurz, unverzweigt oder verzweigt, mit sehr reichlicher, unregelmäßig begrenzter Gallerte, die stark vererzt ***Mycothrix***

1) Die Zuordnung von *Gallionella* zu den *Spirillaceen* ist nicht absolut sicher (s. S. 21).

2) In der Bestimmungstabelle werden bei dieser Gattung nur die Merkmale angegeben, die bisher als sicher bekannt gelten können. Für die Zukunft wird sie vermutlich einer Veränderung bzw. Erweiterung bedürfen, da verschiedene Merkmale an sich unvereinbar sind. Diese Tabelle dient aber nur praktischen Zwecken, weshalb hier alle Angaben vereinigt wurden.

Artendiagnose.

Art	Vorkommen	Zellgröße	Fadentypus
M. abundans Naum.	im Aufwuchs und im Neuston	2,5×0,5 μ	Zellfäden verzweigt
M. clonotricoides Naum.	im Neuston	1,5—3,5×0,5 μ	unverzweigt, selten mehr als 8 Zellen in einem Faden

β) Zellfäden unregelmäßig netzartig verzweigt; Zellenlänge 2,5 μ; rostfleckbildend; im Aufwuchs ***Cladothrix*** *reticularis* Naum.

γ) Zellfäden stets zu Kolonien vereinigt, charakteristische, halbsphärische oder scheibenförmige Beulen erzeugend. Nicht mehr als 3—4 Zellen in einer Scheide beobachtet. Zellen radial an der Oberfläche der Kolonien gelagert. Scheiden dichotom verzweigt. Zellgröße: 1,5—2×0,6 μ. Seerzbildner am Boden von Süßwasserseen, wahrscheinlich auch im Meerwasser ***Sphaerothrix*** *latens* Perf.

δ) Zellfäden echt und unecht verzweigt oder unverzweigt; beweglich. Scheiden bzw. deren Eisenauflagerung regelmäßig, meist parallele Röhren bildend . . . . . ***Leptothrix***

Artendiagnose:

L. ochracea Kütz. Zellgröße: Länge 1—5 μ, auch Riesenzellen, Breite ca. 1 μ. Faden: bis 500 μ lang, einschl. Scheide ca. 3 μ breit, stets unverzweigt. Scheiden: zylindrisch, bis 1 cm und darüber lang; mit glatter Oberfläche, homogen, durchsichtig, sehr spröde, ohne Gegensatz von Basis und Spitze. Sehr verbreitet; frei in eisenhaltigen Wässern, nie festgeheftet. Flockig-wolkige Kolonien bildend.

L. discophora (Schw.) Dorff. Zellgröße: ähnlich der vorigen Art, Riesenzellen häufiger. Faden: Länge bis 200 μ und darüber, häufig nur 10—15 μ. Breite mit Scheide bis 10—15 μ; echt verzweigt, oft mit basaler Haftscheibe. Scheiden: grell ockergelb gefärbt, undurchsichtig; nur im Mittelteil zylindrisch; bei festsitzenden Formen nach der Spitze zu verjüngt, bei freischwimmenden nach beiden Enden. Struktur körnig, nach außen unscharf begrenzt.

L. epiphytica (Hier.) Dorff. Zellgröße: Länge 2 μ, Breite 1 μ. Konstante Maße. Faden: Länge wechselnd, Breite einschl. Scheide ca. 3 μ, unverzweigt. Scheiden: grell ockergelb gefärbt, undurchsichtig, ohne Gegensatz von Basis und Spitze. In unregelmäßig spiraligen Windungen verschiedene Fadenalgen umschlingend.

L. lopholea Dorff. Zellgröße: 1—1,3 μ in der Länge, auch Riesenzellen, Breite 0,5 μ. Faden: 20—30 μ lang, unverzweigt, zu 5—13 in einer Haftscheibe befestigt. Scheiden: zylindrisch, nicht über 40 μ lang, oft Gegensatz von Basis und Spitze, ähnlich *L. discophora*. Im Aufwuchs und neustonisch.

L. major Dorff. Zellgröße: Länge durchschnittlich 5 μ, auch Riesenzellen, Breite ca. 1,3 μ. Faden: Länge bis 600 μ und darüber, oft falsch verzweigt, festsitzend. Scheiden: zylindrisch, nur im unteren Fadenteil stärker vererzend, dann undurchsichtig, dunkelbraun. Am Boden von Gewässern. Besondere Kennzeichen: granuliertes Plasma.

L. pseudovacuolata (Perf.) Dorff. Zellgröße: Länge ca. 3,5 μ, auch Riesenzellen, Breite 1,7—2,8 μ. Faden: Länge bis 250 μ, Breite einschl. Scheide bis 7,5 μ; unverzweigt, meist in regelmäßigen Spiralen gewunden. Scheiden: nicht länger als Zellfäden, oft gegen die Enden hin verjüngt, nach außen unscharf begrenzt. In den obersten Schlammschichten von Seen; frei, nie festgeheftet; selten. Besondere Kennzeichen: granuliertes Plasma, Gasvakuolen, sehr dünne Zellwände.

L. sideropous (Mol.) Chol. Zellgröße: Länge 2—5 μ. Breite ca. 0,6 μ. Faden: Länge bis 600 μ und darüber, Breite bis 1 μ. Unverzweigt, mit Haftscheibe. Scheiden: nur basal vererzt, an den anderen Fadenteilen sehr dünn. Haftscheibe stark vererzend (Durchmesser 6—30 μ). Im Neuston und an Blättern von Wasserpflanzen; verbreitet.

L. thermalis (Mol.) Dorff. Zellgröße: Länge wechselnd, Breite 0,4—0,5 μ. Faden: fein, unverzweigt. Scheide: unvererzt sehr dünn, bei Fe-Einlagerung bräunlich. In Thermen bis zu Temperaturen von über 60° vorkommend, dichte Häute und Bündel bildend.

L. trichogenes Chol. Zellgröße: Länge wechselnd, Breite bis 0,5 μ, auch Riesenzellen. Faden: Länge 300—400 μ, Breite ca. 0,5 μ; bogenförmig kriechend, zahlreiche dünne Primärscheiden abwerfend. Scheiden: Durchmesser etwa 0,2 μ (nach Abstreifen); Einzelscheiden häufig helmartig angeordnet, oft zu Sekundärscheiden verklebt. Selten frei in nährstoffarmen Wässern, häufig in Wasserwerken.

b) Zellfäden teilen sich gelegentlich in drei Richtungen des Raumes; Zellen meist stäbchenförmig, in einzelnen Fadenteilen stets flachscheibenförmig. Fäden basal festgeheftet. Scheide dünn, nur basal stärkere Vererzung und im Zusammenhang damit Verdickung zeigend . . . . . ***Crenothrix***

Artdiagnosen:

Cr. polyspora Cohn. Zellgröße: Länge wechselnd, durchschnittlich 7—9 μ, Breite 2—5 μ. Faden: bis 3 mm und länger. Meist unverzweigt, selten falsche Verzweigung zeigend. Vorkommen: in Enteisenungsanlagen und an anderen Orten der Wasserwerke, in der freien Natur selten beobachtet. Vermehrung: durch Makro- und Mikrokonidien (Durchmesser bis 5 μ, resp. 1—2 μ), sowie durch ausschlüpfende Zellen. Bei Ausbildung von Mikrokonidien keulenförmiges Anschwellen des oberen Fadenendes.

Cr. fusca (Schorl.) Dorff. Zellgröße: Länge wechselnd, durchschnittlich 6—8 μ. Breite ca. 0,8—2,5 μ. Faden: Länge bis 600 μ und mehr; stets dichotom oder unecht verzweigt, die Fäden zeigen Gegensatz zwischen breiterer Basis und schmalerer Spitze. Vorkommen: in Wasserwerken und in der freien Natur. Vermehrung: durch Makrokonidien oder ausschlüpfende Zellen, keine Ausbildung von Mikrokonidien, daher auch keine keulenförmigen Anschwellungen des oberen Fadenendes.

Cr. tenuis (Kolkw.) Dorff. Fadendurchmesser einschl. Scheide 3—4 μ, nach der Spitze zu schmäler; sehr ähnlich *Cr. fusca*. Vorkommen: im Neuston einer Abwasserprobe aus der Kläranlage Stahnsdorf bei Berlin.

B. *Aktinomyceten* (Strahlenpilze).

I. ***Actinomyces*** Harz.

Fäden in eine vererzende Gallerte eingebettet. Im Aufwuchs *A. ferrugineus* Naum.
Fäden an der Membran vererzend. In H_2S-haltigem Schlamm von Seen
A. verrucosus Nadson

III. (Anhang). Zur Frage der siderophagen Organismen.

Der Terminus „siderophage Organismen" wurde 1921 von Naumann (43) eingeführt. Schon Löhnis (33) und kurz darauf Soehngen (64) erwähnten die eisen- resp. manganauflösende Tätigkeit einiger Bakteriengruppen, ohne diese jedoch als „Eisenorganismen" zu bezeichnen. Aus Naumanns ersten Angaben war zu entnehmen, daß dieser Verfasser die Auffassung vertrat, es handele sich hierbei um eine bestimmte, systematisch faßbare Gruppe, die sich auf Grund ihrer eisenlösenden Fähigkeiten scharf von den sonstigen heterotrophen Bakterien trennen ließe. Eingehende Untersuchungen, besonders physiologischer Natur, wurden aber in dieser Hinsicht nicht unternommen.

Bemüht man sich nun, zunächst einmal theoretisch, zu einer greifbaren Umreißung der angeblich „spezifischen" Gruppe der Siderophagen zu gelangen, so erkennt man mit Erstaunen, daß in systematischem Sinne nahezu die ganze Organismenwelt zu dieser Gruppe gezählt werden müßte. Denn das Kriterium ist lediglich die Fähigkeit zur Auflösung von Eisenverbindungen, und diese Fähigkeit ist stets dann vorhanden, wenn der Organismus in irgendeiner Form Säure ausscheidet. Beschränken wir uns zunächst auf die Bakterien, so sehen wir, daß die Mehrzahl der heterotrophen Bodenbakterien, der Schlammbakterien und der im Wasser lebenden Bakterien erhebliche Säuremengen ausscheiden, die das im Boden, im Schlamm oder im Wasser niedergeschlagene Eisen von neuem in Lösung bringen können.

Aus dem Gesagten geht eindeutig hervor, daß man nicht eine Gruppe von „Siderophagen" als gleichwertig neben „siderogene" Organismen stellen darf, sondern daß der Begriff „siderophag" nur in ökologischem Sinn zu gebrauchen ist. Denn man kann wohl erwarten, trotzdem auch darüber noch fast gar keine sicheren Befunde vorliegen, daß die Intensität und die Ursachen der Siderophagie regional einem starken Wechsel unterworfen sind, und damit auch die systematische Zusammensetzung der beteiligten eisenlösenden Mikroben. Das gleiche gilt auch für die Auflösung von Manganverbindungen und — wie in einer anderen Arbeit (15) näher ausgeführt wird — auch für die „Kalkbakterien" und andere, heute noch weitgehend unbekannte Bakteriengruppen.

Naumann, von dem die Anregung zur Erforschung des Wesens der Siderophagie ausging, vertritt jetzt in Vorlesungen ebenfalls die oben geäußerte Ansicht und ist somit von einer systematischen Abgrenzung der Siderophagen abgegangen[1]).

Inhaltsübersicht der Teile IV—V.

(Die volle Veröffentlichung konnte aus wirtschaftlichen Gründen nicht durchgeführt werden; im Referat sind nur die wichtigsten Punkte summarisch aufgezählt.)

IV. Sonstige Eisenorganismen (nichtbakterieller Natur).

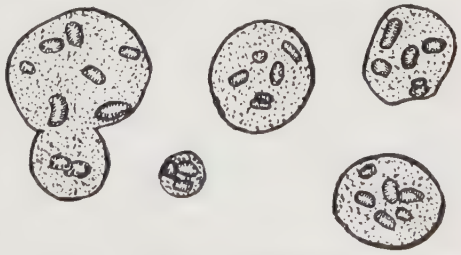

Abb. 36. *Aphanothece ferriglobula* n. sp. Vergr. ca. 1000. Orig.

Die Mehrzahl der Eisenorganismen aus dieser Gruppe ziehen aus der Fe-Oxydation keinen physiologischen Nutzen, bei einigen kann sie sogar stoffwechselhemmend wirken. Immerhin gibt es doch eine ganze Reihe von Arten, besonders bei den Chroococcales und den Flagellaten, die das Eisen so lebhaft oxydieren, daß sie zu den Eisenorganismen sensu stricto gestellt werden müssen, also einen Energiegewinndabei erzielen.

Bei den Blaualgen finden wir die Eisenspeicherung ausschließlich in der Gallerte, ganz ähnlich, wie wir es bei den meisten Bakterien sahen.

1) Briefliche Mitteilung.

Im siderophoren Aufwuchs von Material aus dem Moor Svartökärr bei Jönköping trat zahlreich die oben abgebildete Blaualge auf, die offenbar zum Formenkreis von *Aphanothece* gehört, aber wegen ihres besonderen Charakters in keine der bestehenden Arten eingeordnet werden kann. Ich reihe sie daher dieser Gattung als neue Art ein unter dem Speziesnamen *Aphanothece ferriglobula* n. sp. Die Diagnose lautet: Aufwuchs in kugeligen Kolonien, 3—10 Zellen in einer stark vererzenden Gallerte vereinigt. Zellen kurz-stäbchenförmig, durchschnittlich 3,3×2 μ groß; Färbung schwach bläulich; ohne Vakuolen. Normale Farbaufnahme.

Abb. 37. *Paracapsa siderophila* Naum. Lagertypen; Zellen schwarz gehalten; nach Auslösung des Eisens mit HCl. Vergr. ca. 1000. Orig.

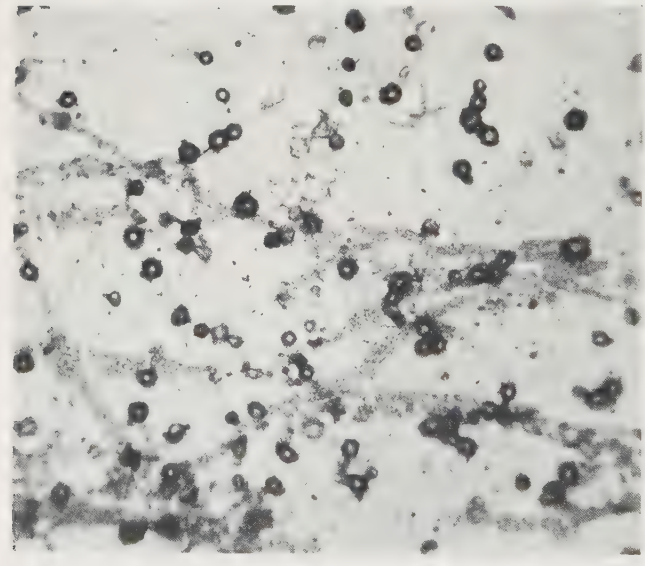

Abb. 38. *Lagynion* sp. Aufwuchs eines Objektträgers nach dreitägiger Exposition. Vergr. 104. Orig.

Im Aufwuchs mit Material aus offenen Entwässerungsgräben des Svartökärr-Moors bei Jönköping in Südschweden aufgefunden.

Von größerer Bedeutung für die Sideroplastie sind ferner *Aphanocapsa sideroderma* Naum., *A. siderosphaera* Naum. und *Paracapsa siderophila* Naum. (Abb. 37). Die letztere beteiligt sich lebhaft an der Bildung gewisser Seerze. Die übrigen Formen sind aus der beifolgenden Tabelle zu entnehmen.

Bei den Flagellaten sind vor allem *Anthophysa vegetans*, *Trachelomonas volvocina* und *Spongomonas intestinum* zu erwähnen, ferner zahlreiche Arten der Gattung *Lagynion* Pascher (Abb. 38). Zu dieser Gattung gehört auch die von Gicklhorn unter dem Namen *Monas micropora* beschriebene Art.

Sie ist daher in der Tabelle als *Lagynion micropora* (Gicklh.) Dorff aufgeführt. Die Fe-Einlagerung geschieht hier auch in die Gallerte wie bei den Diatomeen, von denen aber nur wenige siderophore Formen (z. B. *Cocconeis*) bekannt sind.

Anders verhält es sich bei den *Conjugaten*, die viele Eisenorganismen aufweisen. Die Vererzung findet hier fast ausschließlich in und auf der Membran statt (vgl. Höfler, 24); die Gallerte ist stets eisenfrei, also siderophob. Das Eisen dient vielleicht als eine Art Schutzpanzer, und wird vornehmlich an den exponierten Stellen, wie Stacheln oder Warzen usw., eingelagert; es ist bei den einzelnen Arten stets scharf lokalisiert und kann daher zur eindeutigen Charakteristik der Spezies verwendet werden.

Bei den Chlorophyceen findet sich eine Vererzung — wieder in der Gallerte — in erster Linie bei den Protococcales und Ulotrichales, während sie bei den Volvocales völlig fehlt und in den anderen Reihen stark zurücktritt. Auch bei den Charophyten und den Phäophyceen sehen wir wenige siderophile Arten; bei den Rhodophyceen kennen wir zwei solche Gattungen, nämlich *Nemalion* im Meerwasser und *Batrochospermum* im Süßwasser (Abb. 39, 40). Letztere kann um ihren Körper herum mächtige „Eisenröhren“ ausscheiden.

Abb. 39. *Batrachospermum* sp. bei Beginn der Vererzung. Vergr. ca. 110. Orig.

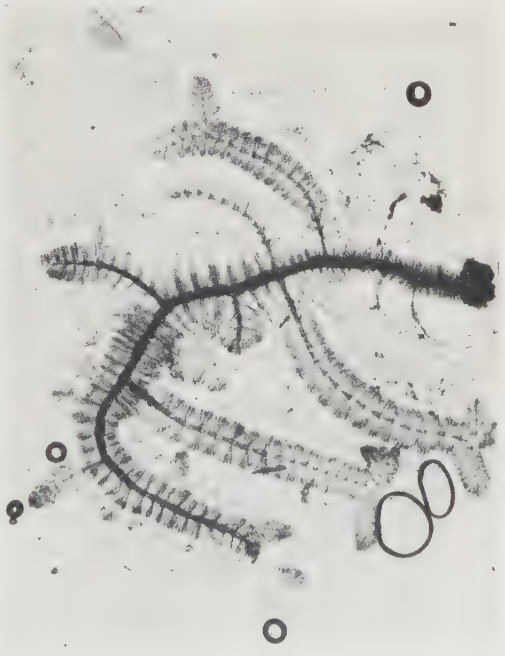

Abb. 40. *Batrachospermum* sp., die Vererzung hat den ganzen Stiel ergriffen. Vergr. 18. Orig.

Untersuchungen über Fe-speichernde Pilze wurden besonders von Lieske (32), Ellis (18) und Beijerinck (4) ausgeführt, die eine größere Anzahl davon beschrieben. Bei den Flechten und den Archegoniaten ist die Sideroplastie nur selten ausgeprägt, so z. B. bei der limnischen Flechte *Polyblastica Haenscheliana* Körb. und dem Quellmoos *Fontinalis antipyretica*. Von Phanerogamen geben Molisch, Perušek u. a. eine ganze Anzahl an, in erster Linie Wasserpflanzen. Ich selbst fand häufig Fe-Einlagerung in den Blasen der Insektivore Utricularia.

Auch eine Anzahl niederer Tiere speichern Eisen; es gehören hierher besonders Vertreter der Rhizopoden und Spongillen.

Zusammenstellung der nichtbakteriellen „Eisenorganismen“ [1] [2].

A. Botanische Gruppe.

1. Schizophyceae:

a) Chroococcales

Aphanocapsa sideroderma Naum.!
„ *siderosphaera* Naum.!
Aphanothece ferriglobula Dorff! (Abb. 35)
Paracapsa siderophila Naum.! (Abb. 36)

b) Chamaesiphonales

Chamaesiphon sideriphilus Starm.!
„ *ferrugineus* Fritsch!

c) Hormogonales

Lyngbya ferruginea West!
„ *Martensiana* Men.!
„ *Molischi* Vouk!
„ *ochracea* (Kütz.) Thur.!
„ *perelegans* Lemm.
Scytonema tolypotrichoides Kütz.
Tolypothrix lanata Wartm.
Stigonema mammilosum Lyngb. (Ag.)
Phormidium antliarium
„ *papyraceum* f. *lutescens* Stockm.
„ *tinctorium* Gom.
Calothrix scopulorum
„ *aeruginosa* Wor.
Hydrocoleus ferrugineus!

2. Echte Algen:

a) Flagellaten

Anthophysa vegetans (O. F. M.) Stein!
Trachelomonas volvocina Ehrbg.!
„ *oblonga* Lemm.
„ *hispida* Stein!
„ *armata* Stein
Spongomonas intestinum (Cienk) Kent!
Lagynion hemisphaericum Naum.! (Abb. 37)
„ *subsphaericum* Naum.

1) Arten mit ! zeigen besonders starke Fe-Speicherung.

2) Literaturnachweis siehe auch S. 57.

Lagynion clavatum Naum.
„ *ovale* Naum.
„ *reniforme* Naum.
„ *urceolatum* Naum.
„ *triquestrum* Naum.
„ *mikropora* (Gicklh.) Dorff
Monoblepharis sp.
Cryptomonas ovata Ehrbg.
Euglena viridis Ehrbg.
„ *spirogyra* Ehrbg.
Euglenocapsa ochracea Steinecke!
Phalansterium sp. Cienk.
Rhipidodendron splendidum Stein
Perseus marinus Butk.!
Colacium sp. Ehrbg.
Chalkopyxis tetrasporoides Pascher.
Chrysotilos ferrea Pascher.

b) Dinoflagellatae —

c) Diatomeae
Cocconeis scutellum var. *ornata* Grun.
„ *pediculus* var. *baltica* (Dampf), A. Cleve, v. Euler
„ sp. sp.
Eunotia impressa var. *angusta* Grun.

d) Conjugatae

α) Desmidiales (nur die häufigeren Formen sind aufgeführt):
Penium navicula Bréb.
Closterium juncidum Ralfs!
„ *peracerosum*!
„ *tumidum*!
„ *Kützingii* Bréb.
„ *striolatum* Ehrbg.!
„ *dianae* Ehrbg.!
sp. sp.
Euastrum verrucosum Ehrbg.
„ *insulare* (Wittr.) Roy
Micrasterias sp. sp.
Cosmarium tinctum Ralfs
„ *regnesii* Reinsch
„ *ornatum* Ralfs
„ sp. sp.
Xanthidium antilopaeum (Bréb.) Kütz.
„ sp. sp.
Staurastrum sp. sp.
Sphaerozosma excavatum Ralfs
„ *granulatum* Roy et Biss.

β) Zygnemales:
Mougeotia sp. Wittr.

e) Chlorophyceae

α) Volvocales:
Chlorosphaera angulosa (Corda) Klebs
Schizochlamys gelatinosa A. Br.

β) Protococcales:
Chlorella (sectio *Siderocelis*) *Kolkwitzii* Naum.
„ *oblonga* Naum.
„ *minor* Naum.
Characium sp. A. Br.
Chlorosarcina minor Gern.
Palmodictyon viride Kütz.

γ) Ulotrichales:
Stigeoclonium sp.
Gongrosira sp.
Microspora rufescens (Kütz.) Lagerh.! (= *Conferva martialis?*)
Enteromorpha aureola f. *ochracea*
„ *percursa*
„ *prolifera*
„ *torta*
„ *tubulosa*
Dicranochaete reniformis Hier.
Centrosphaera sp. Borzi
Oedogonium sp. sp.

δ) Heterocontae:
Ophiocytium sp.

ε) Siphonocladales:
Cladophora rupestris (L.) Kg.
„ *aegagropila* Rabenh.

ζ) Siphonales: —
Charophyta:
Chara sp. (eine Art, nicht näher bestimmt) Speicherung nur in Rindenzellen

η) Phaeophyceae:
Sphacelaria racemosa f. *notata* Grév.
„ *cirrhosa* (Roth.) Ag.
Chaetopteris plumosa
Pylaiella litoralis Kjellm.

ϑ) Rhodophyceae:
Nemalion sp.
Batrachospermum vagum Ag.
„ sp.! (nichtbestimmte Art) (Abb. 38, 39)

3. Eumycetes:
Citromyces siderophilus Lieske!
Papulospora manganica Beij.!
Sporocybe chartoikoon Beij.!
Botrytis sp. sp.
Mycogone sp. sp.
Trichocladium sp. sp.
Oidium manganiferum α Thiel!
„ „ β Thiel!
Phycomycites Frodinghammii † Ellis

4. Lichenes:
Polyblastia Haenscheliana Körb.!

5. Archegoniatae: Speicherung in:
a) Bryophyta
Fontinalis antipyretica L. Blättchen und Stämmchen, ganz
„ *squamosa* L.
Riccia fluitans L. dgl., nur Oberseite
b) Pteridophyta: —

	Speicherung in:
6. Phanerogamae:	
a) Monocotyledones	
Alisma plantago L.	Wasserbl. ganz, sonst punktweise
„ *gramineum* Ehrbg.	Luftbl., Stiel, ganz, sonst punktweise
Sagittaria sagittifolia L.	Zellreihen über den Nerven
Butomus umbellatus L.	Bl., Epidermis an der Oberseite
Vallisneria spiralis L.!	Bl., Epidermis
Stratiotes aloides L.	Bl., mit Ausnahme der Blattränder und der Hauptnerven
Elodea canadensis Casp.!	total
„ *crispa*	dgl.
Hydrilla verticillata Casp.	
Trianea bogotensis Krst.	Blattunterseite
Potamogeton lucens L.	Blätter
„ *densus* L.	Blätter
„ *perfoliatus* L.	Blätter und Stengel
„ *crispus* L.	
„ *acutifolius* Lk.	
„ *pectinatus* L.	
„ *natans* L.	submerse Bl., ganz, Schwimmbl. Unterseite
Najas major Rth.	Blätter und Stengel
Lemna trisulca L.!	Blätter und Stengel
„ *minor* L.	Blätter, Unterseite
Oryza sativa L.	Wurzeln und untere Stengelteile
b) Dicotyledones	
Ranunculus divaricatus Schrank	Blätter und Stengel
Ranunculus aquatilis L.	Blätter
Myriophyllum spicatum L.	Blätter
Utricularia sp.	Blaseninhalt
Trapa natans L.	Nüsse
Cinchona ferruginea L.	Stamm
B. Zoologische Gruppe.	
1. Protozoa:	
Hyperammina	
Cyclammina	
Rhabdammina Sars	
Difflugia Perty	Gehäuse
Arcella Ehrbg.!	Gehäuse
Carchesium L.	
Vorticella Ehrbg.	
2. Metazoa	
a) Coelenterata	
Porifera (sämtlich)	
Hydra fusca L.	besonders Sohle
Cordylophora sp. Allm.	Ektozysten und Becher
Campanularia sp. Ald.	
Sertularia sp. L.	
Alcyonella	Ektozysten und Becher
b) Vermes	
Floscularia (*Melicerta*) *ringens* L.	
Aphrodite sp. L.	
Cirratulus sp. Müll.	
Sternapsis scutata Ranz.	besonders Bauchschild, Borsten und Abdominalcirren

	Speicherung in:
Herpobdella sp. L.	
Glossosiphonia sp. L.	
Phascolosoma sp. Blainv.	
Sipunculus nudus L.	Rüsseltentakel
c) Arthropoda	
Daphnidae (wohl sämtlich)	Darm, Kiemen, Leber, Schalen, Brutraum
Dronia sp. M. E.	
Dorippe sp. L.	
Squilla sp. Latr.	
Gammaridae (?)	
d) Mollusca	
Chiton sp. Spengl.	
Patella L.	
Philine L.	
Planorbis cornea L.	Fuß und Mantel
Anodonta L.!	
Unio L.!	
Pectunculus L.	
Mactra L.	
e) Echinodermata	
Stichopus Cuv.	
Synapta Mont.	
f) Chordata	
Clavellina rissoana Müll.	ganzer Körper

V. Begleitorganismen (ohne Eisenspeicherung).

Wir haben in den vorhergehenden Abschnitten eine große Anzahl von eisenspeichernden bzw. eisenabscheidenden Organismen kennengelernt. Daraufhin kann nun eine kritische Frage gestellt werden, durch deren Bejahung unsere eingangs gegebene Definition der „Eisenorganismen" unbrauchbar würde. Diese Frage könnte lauten: Ist es eine Eigentümlichkeit aller Organismen, sich in eisenhaltigem Wasser mit Eisenoxydhydrat zu inkrustieren? In der Überschrift ist schon die verneinende Antwort enthalten. Es ist nämlich höchst auffällig, daß in ein und demselben Medium eine Reihe von Organismen dieses Mineral intensiv niederschlagen und speichern, während andere stets eisenfrei bleiben. Besonders auffallend sind die Unterschiede in den Gallerten einiger Bakterien und Algen, die bei bestimmten Arten stets völlig eisenfrei sind, während sie bei anderen das Eisen begierig aufnehmen und speichern.

Unter „Begleitorganismen" verstehen wir diejenigen, die zwar siderophil, aber nicht siderophor sind; d. h. alle die Organismen, welche einen erhöhten Eisengehalt gut vertragen oder sogar erfordern, aber nicht die Fähigkeit besitzen, den Kreislauf des Eisens zu beeinflussen.

Hierher sind zunächst eine Anzahl sehr verbreiteter Bakterien und Blaualgen zu zählen, so *Bacillus subtilis*, *Streptococcus*, ferner *Aphanothece*-Arten, *Oscillatoria princeps* u. v. a. Von den höheren Algen gehören zu dieser Gruppe viele Konjugaten, auch Ulotrichalen und Diatomeen. Die vollständige Zusammenstellung der Arten findet sich wiederum in der beigefügten Tabelle.

Vgl. ferner Literatur: Cholodny (10); Dorff (15); Gicklhorn (21); Höfler (24); Klebs (26); Lundquist (34); Molisch (40); E. Naumann (43, 44, 45, 47, 48); Peklo (55); Perušek (57); Schneider (60); Sjöstedt (63); Steinecke (66, 67); Thiel (68); Vouk (70).

Zusammenstellung der Begleitorganismen (ohne Eisenspeicherung)[1]).

A. Botanische Gruppe.

1. *Schizophyta*
   a) *Schizophyceae:*
      Aphanothece longior Naum.
      Schmidlea luteola (Schmidle) Laut.
      Rhabdoderma irregularis (Naum.) Geitl.
      Oscillatoria princeps Vauch.
   b) *Schizomycetes:*
      Streptococcus sp.
      Bacillus subtilis Ehrbg.
2. *Flagellatae:* —
3. *Dinoflagellatae:* —
4. *Diatomeae:*
   Tabellaria flocculosa Kütz.
   Gomphonema sp.
   Navicula sp.
   Pennatae sp. sp.
   Melosira varians Ag.
   „ *italica* Kütz.
5. *Conjugatae:*
   a) *Desmidiales* (nur die wichtigsten Formen)
      Mesotaeniaceae (fast sämtlich)
      Closterium lunula (Müll.) Nitzsch.
      „ *acutum* (Lyngb.) Bréb.
      Netrium digitus
      „ sp. sp.
      Penium sp. sp.
      Pleurotaenium sp. sp.
      Euastrum oblongum (Grév.) Ralfs
      „ *ansatum* Ralfs
      Cosmarium sp. sp.
      Hyalotheca sp. sp.
      Staurastrum brachiatum Ralfs
      „ *muticum* Bréb.
      Sphaerozosma vertebratum (Bréb.) Ralfs
      Gymnozygon moniliformis Ehrbg.
   b) *Zygnemales*
      Spirogyra sp. sp.
      Zygnema sp. sp.
6. *Chlorophyceae:*
   Draparnaldia sp.
   Coleochaete sp.
   Bulbochaete sp.
   Vaucheria sp.

1) Der Vollständigkeit halber sollen hier noch diejenigen Organismen Erwähnung finden, die zwar nicht auf eisen-manganhaltige Wässer beschränkt sind, die aber bei den Versuchen von Molisch, Perušek und Höfler keinerlei Fähigkeiten zeigten, das im Wasser gelöste Eisen bzw. Mangan auf ihren Membranen zu fällen.

7. *Charophyta:* —
8. *Phaeophyceae:* —
9. *Rodophyceae:* —
10. *Fungi:* —
11. *Archegoniatae:* —
12. *Phanerogamae:*

Cabomba sp.
Isoetes Malinverniunum
Sparganium simplex Huds.
Scirpus lacustris L.
Nuphar luteum L.
Nymphaea sp. L.
Bacopa Moniera
Ambulia sp.
Myriophyllum proserpinacoides
„ (= *brasiliense*)
Polygonum amphibium L.
Hydrocharis morsus ranae L.
Lemna polyrhiza (?) L.
Veronica beccabunga L.
Hippuris vulgaris L.
Callitriche sp.
Ludwigia palustris
Lysimachia nummularia L.
Galium palustre L. u. a.

B. Zoologische Gruppe[1]).

Lumbriculus variegatus Müll.
Asellus aquaticus L.
Ephemeriden-Larven (nicht näher bestimmt)
Agabus bipustulatus L.
Sigara fabricii Fieb.

D. Zusammenfassung.

1. Als „Eisenorganismen" sind alle Lebewesen aufzufassen, die sich merklich an der Ausfällung von Eisenverbindungen beteiligen. Die Möglichkeit, eine besondere Gruppe als „Anorgoxydanten" auszuscheiden und nur diese als Eisenorganismen zu betrachten, fällt fort.

2. Die Systematik der Eisenbakterien umfaßt zur Zeit 17 Gattungen mit 42 Arten, von denen 9 Gattungen mit 22 Arten zu den Haplobakterien, 7 Gattungen mit 18 Arten zu den Trichobakterien und 2 Arten zu den Aktinomyzeten gehören. 2 Gattungen mit je 2 Arten sowie 3 weitere Arten schon bestehender Gattungen wurden neu aufgefunden und eingeordnet. Eine Umänderung ihrer Stellung im System und damit ihrer Nomenklatur erfuhren außerdem 10 Arten: *Siderothece major* und *minor*, *Siderocystis duplex* und *Sideroderma tenue*, *Spirothrix*, *Clonothrix fusca* und *tenuis* wurden anderen Gattungen bzw. Arten angegliedert, aus Prioritätsgründen wurde der Gattungsname *Chlamydothrix* Migula durch *Leptothrix* Kützing ersetzt, ebenso die Artnamen *Lept. crassa* Chol. in *L. discophora* (Schwers) Dorff und *L. volubilis* Chol. in *L. epiphytica* (Hier.) Dorff umgeändert.

3. In der Bestimmungstabelle sind in üblicher Weise die Haplobakterien in Coccaceen, Bakteriaceen und Spirillaceen untergeteilt, die Trichobakterien in Zellfäden ohne und mit Scheide. Zur Unterscheidung wurden sowohl morphologische und physiologische Merkmale herangezogen, als auch weitgehend ökologische Merkmale berücksichtigt.

1) Die aufgeführten Arten sind zwar keine Begleitorganismen im engeren Sinne, sollen aber hier Erwähnung finden, da sie sich regelmäßig und oft in großer Zahl in den untersuchten Eisenwässern fanden.

Die sogenannten „siderophagen“ Organismen bilden keine systematische Einheit; doch kann der Begriff „Siderophagie“ in ökologischem Sinne verwendet werden.

4. Bei den Eisenorganismen nichtbakterieller Natur treten die Cyanophyceen in den Vordergrund, und zwar sind artenmäßig die *Hormogonales* am zahlreichsten, dann folgen die *Chroococcales*; recht selten finden sich Fe-speichernde *Chamaesiphonales*. Eine Art wurde neu aufgefunden und als *Aphanothece ferriglobula* n. sp. eingeordnet. Das Eisen spielt bei den echten Algen nur noch für manche Flagellaten eine gewisse physiologische Rolle, so z. B. bei *Anthophysa vegetans*; für die übrigen dient es wahrscheinlich meist als eine Art Schutzpanzer. Besonders interessant sind die Verhältnisse bei den Desmidiaceen, die Membranvererzung aufweisen, während die meisten anderen Gruppen Gallertvererzung zeigen (z. B. Chlorophyceen, Rhodophyceen). Auch bei Pilzen, einigen Archegoniaten und Phanerogamen ist regelmäßige Eisenspeicherung festgestellt worden. Anhangsweise wurde eine Anzahl tierischer Eisenfäller kurz behandelt und tabellarisch aufgeführt. Charakteristisch sind hier viele Rhizopoden und Spongillen.

5. Begleitorganismen sind alle diejenigen, die zwar siderophil, aber nicht siderophor sind; d. h. solche, die einen erhöhten Eisengehalt des Wassers zwar vertragen oder sogar erfordern, ohne aber selbst zu vererzen. Die Kenntnis dieser Gruppe ist noch lückenhaft.

Literaturverzeichnis.

[Ausführlichere Literatur ist bei Dorff (15) angegeben.]

1) Adler, O., Biologische Untersuchung von natürlichem Eisenwasser. Dtsch. med. Wochenschrift, Nr. 26, S. 431 (1901).

2) Aschan, O., Die Bedeutung der wasserlöslichen Humusstoffe (Humussole) für die Bildung der See- und Sumpferze. Zeitschr. f. prakt. Geologie, Bd. 15, S. 56 (1907).

3) Baier, C., Über Eisenbakterien im Spülschlamm des Krefelder Wasserwerks. Die Natur am Niederrhein, Heft 2 (1929).

4) Beijerinck, M. W., Oxydation des Mangankarbonates durch Bakterien und Schimmelpilze. Folia microbiologica, Delft; 2 (1913).

5) Boyce, R., Note upon fungus deposits in unfiltered water mains. Thompson Yates Labor. Liverpool, Vol. 4, p. 409 (1902).

6) Brussoff, A., Ferribacterium duplex, eine stäbchenförmige Eisenbakterie. Zentralbl. f. Bakter. II, Bd. 45, S. 547 (1916).

7) — Über eine stäbchenförmige, kalkspeichernde Eisenbakterie aus dem Klärschlamm einer biologischen Abwasserkläranlage. Zentralbl. f. Bakter. II, Bd. 48, S. 193 (1918).

8) Butkewitsch, W. S., Die Bildung der Eisen-Manganablagerungen am Meeresboden und die daran beteiligten Mikroorganismen. (Russ. m. deutscher Zusammenfassung). Sonderdruck aus den Berichten des Wissenschaftlichen Meeresinstitutes (Trudy Morskogo Naučnogo Instituta), Bd. 3, Lief. 3, Moskau 1928.

9) Cholodny, N., Über neue Eisenbakterienarten aus der Gattung *Leptothrix* Kütz. Zentralbl. f. Bakter. II. Bd. 61, S. 292 (1924).
10) — Die Eisenbakterien. Beiträge zu einer Monographie. Pflanzenforschung, hrsg. von R. Kolkwitz, H. 4, Jena 1926.
11) — Beobachtungen über die Mikroflora der Eisen- und Schwefelgewässer des Kaukasus. Travaux de la Station biolog. du Dniepre 2, Académie des Sciences de l'Ukraine de la classe des Sciences Physiques et Mathématiques, T. 3, Livre 4 (1927).
12) — Zur Kenntnis der Eisenbakterien aus der Gattung *Gallionella*. Planta 8, S. 252 (1929).
13) Cohn, F. J., Über den Brunnenfaden (*Crenothrix polyspora*) mit Bemerkungen über die mikroskopische Analyse des Brunnenwassers. Beitr. z. Biol. d. Pflanzen, Bd. 1, Heft 1, S. 108—131 (1875).
14) Dorff, P., Järn- och manganutfällningarna i Svartökärr. (Die Eisen- und Manganausscheidungen im Niedermoor Svartökärr). (Schwed. m. ausführl. deutscher Zusammenfassung). Svenska mosskulturföreningens tidskrift 46, H. 2 (1932).
15) — Die Eisenorganismen II. Diss. Landw. Hochschule Berlin (1933) 1934. Im Druck.
16) — Bericht über die Bodenuntersuchungen des Spreegrundes bei Berlin-Köpenick. Als Ms. b. d. Akten des Preuß. Wasserbauamts Köpenick. (1933).
17. Ehrenberg, C. G., Vorläufige Mitteilungen über das wirkliche Vorkommen fossiler Infusorien und ihre große Verbreitung. Poggendorfs Annalen, Bd. 38, S. 213 u. 455 (1836).
18) Ellis, D., Iron-bacteria and their connection with stone decay. Proc. Roy. Philos. Soc. Glasgow, Vol. 37, p. 175 (1907).
19) — Iron-Bacteria. London 1919.
19a) Francis, W. D., The origin, classification and organic relationships of the protein. produced by inorganic ferruginous material. (Kritisch besprochen in Lit. Nr. 15.) Proc. Roy. Soc. Queensland, Bd. 44, 1933.
20) Gaidukov, N., Über die Eisenalge Conferva und die Eisenorganismen des Süßwassers im allgemeinen. Ber. d. Dtsch. Bot. Ges., Bd. 23, S. 280 (1905).
21) Gicklhorn, J., Studien an Eisenorganismen. 1. Mitt. Sitz.ber. Akad. d. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl. I, Bd. 57, S. 129 (1920).
22) Harder, E. C., Iron-Bacteria. Science, New Series, Vol. 42, p. 310 (1915).
23) — Iron-depositing bacteria and their geological relations. United States Geolog. Survey, Professional Papers 113, Washington 1919.
24) Höfler, K., Über den Eisengehalt und lokale Eisenspeicherung in der Zellwand der Desmidiaceen. Sitz.ber. Akad. Wiss. Wien, Kl. I, Bd. 135 (1926).
25) Jegunow, M., Schwefeleisen und Eisenoxydhydrat in den Böden der Limane und des Schwarzen Meeres. (Russ. mit deutscher Übersetzung). Annuaire géolog. et minéral. de la Russie 2, p. 157 (1897/98).
26) Klebs, G., Über die Organisation der Gallerte bei einigen Algen und Flagellaten. Untersuchungen aus dem Bot. Institut Tübingen, 2. Bd. (1886/88).
27) Kluyver, A. J., und van Niel, C. B., Über *Bacillus funicularius* n. sp. nebst einigen Bemerkungen über *Gallionella ferruginea* Ehrenberg. Planta 2, S. 506 (1926).
28) Kolkwitz, R., Schizomycetes. — Kryptogamenflora der Mark Brandenburg, Bd. 5, 1. Heft, 1909.
29) — Pflanzenphysiologie. 2. Aufl. Jena 1922.
30) Kützing, F. T., Phycologia germanica. Nordhausen 1845.
31) Lieske, R., Beiträge zur Kenntnis der Physiologie von *Spirophyllum ferrugineum*, einem typischen Eisenbakterium. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 49, S. 91 (1911).
32) Untersuchungen über die Physiologie eisenspeichernder Hyphomyceten. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 50, S. 328 (1911/12).
33) Löhnis, F., Vorlesungen über landwirtschaftliche Bakteriologie. S. 197. Berlin 1913.
34) Lundquist, G., Om roströr hos Batrachospermum och dessas förhållande till slamavlagringarna. Botan. notiser p. 285 (1923).

35) Meeham, W. J., and Baas-Becking, L. G. M., Iron organisms. Science New Series 66 (1927).
36) Migula, W., Über *Gallionella ferruginea* Ehrenberg. Ber. d. Dtsch. Bot. Ges., Bd. 15, S. 321 (1897).
37) — System der Bakterien. Bd. 2, S. 1031. Jena 1900.
38) Miyoshi, M., Über das massenhafte Vorkommen von Eisenbakterien in den Thermen von Ikao. Journal of the College of Science, Imp. Univers. Japan, Vol. 10, part 2, p. 139. Tokio 1897.
39) Molisch, H., Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen. Jena 1892.
40) — Über das Fällen des Eisens durch Licht und grüne Wasserpflanzen. Sitz.ber. d. Akad. d. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl. I, Bd. 119 S. 959 (1910).
41) — Die Eisenbakterien. Jena 1910.
42) Nadson, G., Die Mikroorganismen als geologische Faktoren I. (russ. mit deutscher Inhaltsübersicht u. Tafelerklärung). Petersburg 1903.
43) Naumann, E., Untersuchungen über die Eisenorganismen Schwedens I. Kungl. Sv. Vetenskapsakad. Handl., Bd. 62 (1921).
44) — Notizen zur Biologie der Süßwasseralgen. Arkiv f. Bot. 16, (1921).
45) — Notizen zur Systematik der Süßwasseralgen. Ebenda.
46) — Über die Seerzbildungen der Spree in der Nähe von Berlin. Arch. Hydrobiol. 13 (1922).
47) — Notizen zur Biologie der Süßwasseralgen. Arkiv f. Bot., Bd. 18 (1924).
48) — Notizen zur Biologie der Süßwasseralgen. Ebenda, Bd. 19 (1925).
49) — Die eisenspeichernden Bakterien. Kritische Übersicht der bisher bekannten Formen. Centralbl. f. Bakter. II, Bd. 78 (1929).
50) — Die Eisenorganismen. Grundlinien der limnologischen Fragestellung. Internat. Revue d. ges. Hydrobiologie u. Hydrographie, Bd. 22 (1930).
51) — und Sjöstedt, G., Untersuchungen aus dem Oeresund. X. Eine Lagynion-Siderocapsa-artige Struktur im marinen Aufwuchs von Oeresund. Lunds Univers. Ärsskrift N. F. Avd. II, Bd. 19 (1921).
52) Pakh, E., Die Eisenbakterien Ungarns. Folia Cryptogamica I, S. 201, Szeged 1926.
53) — *Leptothrix trichogenes* Cholodny Erdélyben. (Über das Vorkommen von *Leptothrix trichogenes* in Siebenbürgen.) Magyar Botanikai Lapok, Bd. 25 (Ungar. Botan. Blätter), S. 269. 1926.
54) — Über das Vorkommen von *Leptothrix trichogenes* bei Csikrakos und Szeged. Folia Cryptogamica I, Szeged 1928.
55) Peklo, J., Über eine manganspeichernde Meeresdiatomee. Oesterr. Bot. Zeitschr., 1908.
56) Perfiliev, B. W., Die Rolle der Mikroben in der Erzbildung. Verh. d. Internat. Vereinigung f. theoret. u. angew. Limnologie 1925. Stuttgart 1927.
57) Perušek, M., Über Manganspeicherung in den Membranen von Wasserpflanzen. Sitz.ber. d. Kais. Akad. d. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl., Abt. 1, 1919.
58) Redinger, K., *Siderocapsa coronata* (Redinger), eine neue Eisenbakterie aus dem Lunzer Obersee. Arch. f. Hydrobiol., Bd. 22, Heft 3 (1931).
59) Roze, E., Le Clonothrix, un nouveau type générique des Cyanophycées. Journ. de Bot., T. 10 (1896).
60) Schneider, R., Über siderophile Tierformen. Sitz.ber. d. Ges. Naturf. Freunde zu Berlin (1922), 1924.
61) Schorler, B., Beiträge zur Kenntnis der Eisenbakterien. Centralbl. f. Bakter. II, Bd. 12, S. 681 (1904).
62) Schwers, H., *Megalothrix discophora*, eine neue Eisenbakterie. Centralbl. f. Bakter. II, Bd. 33, S. 273 (1912).
63) Sjöstedt, G., Om järnutfällning hos havsalger vid Skånes kuster (schwed. mit kurzem deutschen Rés.) Botan. Notiser, p. 101. Lund 1921.
64) Soehngen, N. L., Umwandlungen von Manganverbindungen unter dem Einfluß mikrobiologischer Prozesse. Centralbl. f. Bakter. II, Bd. 40, S. 545 (1914).

65) Suessenguth, K., Zur Kenntnis der Eisenbakterien der *Gallionella*-Gruppe. Centralbl. f. Bakter. II, Bd. 69, S. 327 (1927).
66) Steinecke, Fr., Limonitbildende Algen der Neide-Flachmoore. Bot. Arch., Bd. 4, S. 403 (1923).
67) — Algologische Notizen II. 2. *Euglenocapsa ochracea*. Arch. f. Protistenkde., Bd. 76, S. 592 (1931).
68) Thiel, G. A., Manganese precipitated by microorganisms. Economic geology 20, p. 301 (1925).
69) Uspenski, E. E., Eisen als Faktor für die Verbreitung niederer Wasserpflanzen. Pflanzenforschung, hrsg. von R. Kolkwitz, H. 9, Jena 1927.
70) Vouk, V., O željeznim cijanoficejama (kroatisch). Jugosl. Akad. znan. i. umjet u. Zagrebu. Rad, Bd. 223 (1920).
71) Winogradsky, S., Über Eisenbakterien. Bot. Ztg. (1888).
72) — Eisenbakterien als Anorgoxydanten. Centralbl. f. Bakter. II, Bd. 57, S. 1 (1922).

Frommannsche Buchdruckerei (Hermann Pohle) in Jena — 6388

Lebenslauf.

Ich, Paul Dorff, wurde am 7. Mai 1907 als Sohn des Kaufmanns Otto Dorff in Berlin geboren; ich bin arischer Abstammung und evangelischer Konfession. Von Oktober 1913 bis Ostern 1923 besuchte ich das Friedrichs-Werdersche Gymnasium und das Falk-Realgymnasium, beide in Berlin, später das Reform-Realgymnasium in Zehlendorf. Die Schule verließ ich mit dem Zeugnis der Reife für Obersekunda, um Landwirt zu werden.

Von Juni 1923 bis Oktober 1925 legte ich meine landwirtschaftliche Lehrzeit auf dem Rittergut Rangsdorf, Kr. Teltow, und Stargordt, Kr. Regenwalde (Pom.) ab. Vom Wintersemester 1925/26 bis 1928 studierte ich an der Landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin und der Albertus-Universität zu Königsberg (Pr.) und bestand in Berlin im November 1926 die Vorprüfung, im Mai 1928 die akademische Hauptprüfung für praktische Landwirte.

Im Anschluß daran bekleidete ich bis Ende des Jahres 1928 eine Stellung als landwirtschaftlicher Beamter auf dem Rittergut Neukünkendorf, Kreis Angermünde, die ich aufgab, um mich wiederum theoretischen Studien zuzuwenden. Um die Möglichkeit zum ordentlichen Universitätsstudium zu haben, legte ich am 1. Oktober 1929 als „Nichtschüler" vor der Prüfungskommission des Gymnasiums mit deutscher Oberschule zu Berlin-Zehlendorf die Reifeprüfung ab.

Im Wintersemester 1928 wurde ich an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin immatrikuliert und studierte hier Botanik, Geographie, Landwirtschaft, Zoologie, Chemie und Philosophie. Am 15. Dezember 1932 bestand ich vor der Philosophischen Fakultät die mündliche Doktorprüfung. Mit Sondergenehmigung des Preuß. Ministers für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung wurde ich anschließend zur Landwirtschaftlichen Doktorprüfung zugelassen, die ich am 19. Mai 1933 vor dem Senat der Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin bestand. Vom Sommersemester 1930 ab beschäftigte ich mich mit wissenschaftlichen Untersuchungen über Eisenorganismen und den Kreislauf des Eisens in der Natur, welchen Gebieten auch meine Dissertationsschriften entnommen sind.

Meine Hochschullehrer waren: Aereboe, Auhagen, Baur †, Binz, Brieger, Czaja, Diels, v. Falck, Fischer, Foedisch, Gothan, Graebner †, Hansen, Hesse, Heymons, Hoffmann, Hollmann, A. Hübner, Kniep †, Köhler, Kolkwitz, Krebs, Lang, Lemmermann, Litten, Louis, H. Maier †, Mangold, Mannich, Marcus, Markgraf, Miehe †, Nadler, E. Naumann, Opitz, Penck, Rieffert, Riesenfeld, Rothfels, Rühl, Sabalitschka, Schlenk, Schmaltz †, Solger, Spranger, C. Troll, Völtz, Zielstorff, Zimmer, Zörner.